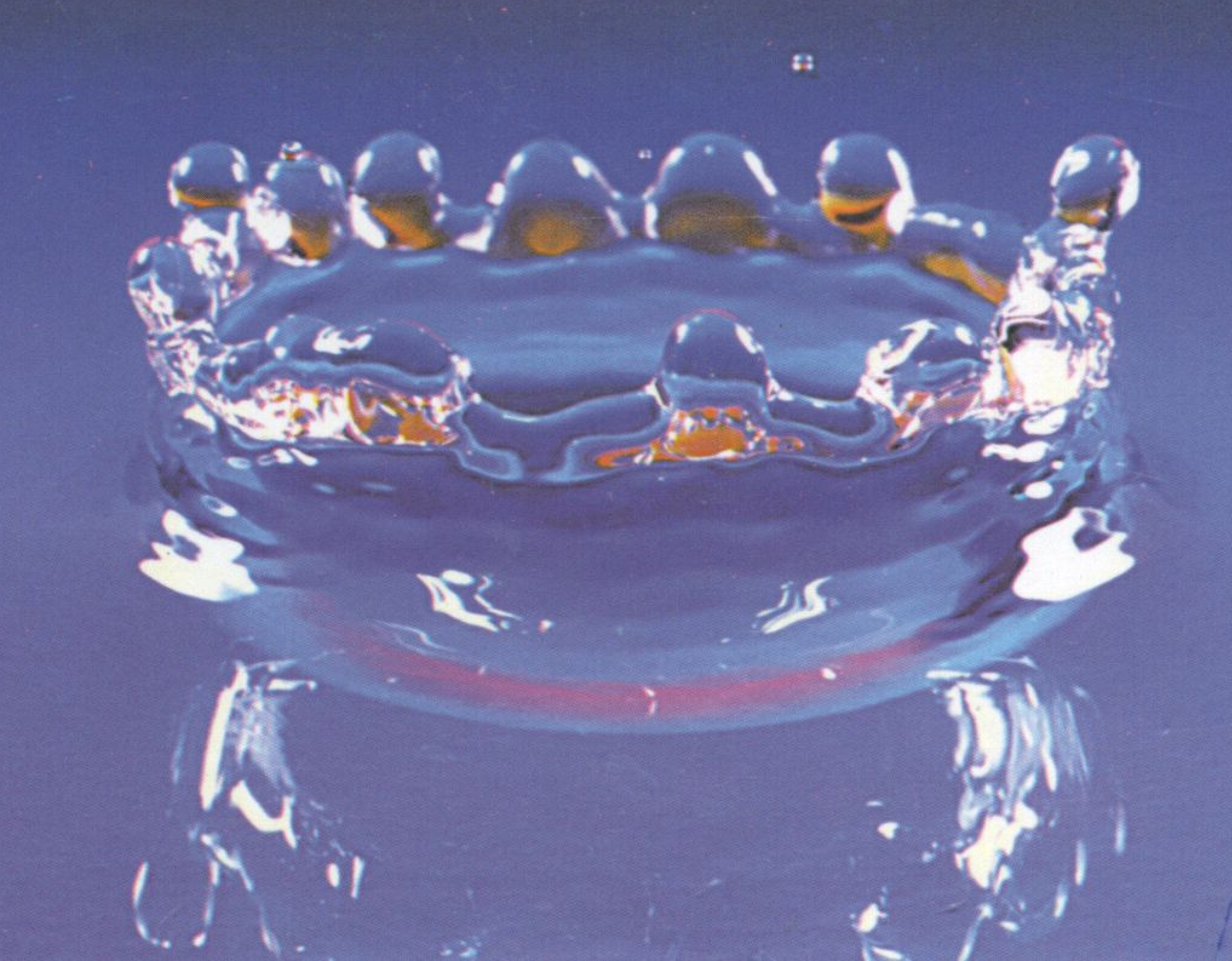
التلوث المائي

مصادره . مخاطره . معالجته

الدكتور
حارث جبار فهد

الدكتور
عادل مشعان ربيع





بسم الله الرحمن الرحيم

(وجعلنا من الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون)

صدق الله العظيم

الأية 30 من سورة الأنبياء

التلوث المائي

مصادره، مخاطره، معالجته

التلوث المائي

مصادره، مخاطره، معالجته

تأليف

د. حارث جبار فهد

د. عادل مشعان ربيع

الطبعة الأولى

2011م - 1432هـ



مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية(2008/8/2695)

363.73

فهد، حارث

التلوث المائي: مصادره، مخاطره، معالجته /حارث جبار فهد، عادل مشعان ربيع، - عمان: مكتبة المجتمع العربي، 2008

(   ) ص.

ر.أ. : 2008/8/2695

الواصفات: /التلوث المائي//مكافحة التلوث/

• أعدت دائرة المكتبة الوطنية بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية

الطبعة العربية الأولى

2011م – 1432هـ



مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

عمان – وسط البلد – ش. السلط – مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس 4632739 ص.ب. 8244 عمان 11121 الأردن

عمان – ش. الملكة رانيا العبد الله – مقابل كلية الزراعة –

مجمع زهدي حصوة التجاري

www: muj-arabi-pub.com

Email: Moj_pub@hotmail.com

المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة

الموضوع	رقم الصفحة

الفصل الثالث

مصادر تلوث المياه

الموضوع	رقم الصفحة

الفصل الرابع

الأحياء المجهرية في البيئة المائية

الموضوع	رقم الصفحة

الموضوع	رقم الصفحة

الفصل الخامس

الأحياء المرضة المتواجدة في المياه

الموضوع	رقم الصفحة

الفصل السادس

معالجة مياه الفضلة

الموضوع	رقم الصفحة

الموضوع	رقم الصفحة

الفصل السابع
المحافظة على البيئة المائية

تقديم:

قد لا يكون من الغريب القول بانه حاليا وفي اكثر دول العالم أصبحت المياه تستحوذ على درجة كبيرة من العناية والاهتمام سواء على الصعيد الفردي او الجماعي، بعد ان اصبح توفير المياه بكميات مناسبة للاستخدامات اليومية امرا فيه الكثير من الصعوبة بسبب الضغوط المتزايدة التي تتعرض لها هذه المياه وخاصة المياه العذبة.

ومن هذه الضغوط المتعددة برزت مشكلة التلوث المائي بكونها المشكلة الاهم التي تواجه البيئات المائية وخاصة البيئات المائية العذبة، مما تطلب بذل جهود حثيثة من اجل معالجة ما يمكن معالجته أولا، وتجنب تدهور مزيد من هذه المصادر الحيوية ثانياً، وعلى اية حال فأنه من الواضح أن العديد من المشكلات البيئية التي ظهرت سابقا في دول العالم المتطور كانت نتيجة للإهمال أو لعدم القدرة على إدراك وتحديد أسباب التلوث والتدهور البيئي، ومن أجل منع استمرار وتكرار مثل هذه القضايا في دول العالم الثالث بشكل عام وفي دولنا العربية بشكل خاص اصبح من المحتم علينا التعريف بمشكلة تلوث المياه وما تتركه من سلبيات غالبا ما تكون دائمية على نوعية مياهنا.

وفي هذا المنوال يأتي اعداد هذا الكتاب من اجل توضيح مشكلة التلوث المائي بتسلسل يأخذ بنظرالاعتبار كل جوانب المشكلة،حيث يبدا الكتاب بفصله الاول بتوضيح اهمية الماء في حياتنا وخصائصه المهمة،في حين يتناول الفصل الثاني توزيع المياه على سطح الارض مع التركيز على بيئات الماء العذب،اما الفصل الثالث فيوضح مفهوم تلوث الماء مع اشارة الى مصادر تلوث الماء، واهم هذه الملوثات بشكل عام، اما الفصل الرابع فنستعرض به مقدمة عن التلوث البايولوجي،والذي يعد الشكل الاكثر خطورة من بين ملوثات الماء، ومن ثم نتناول في الفصل الخامس اهم مجاميع الكائنات الحية التي تعيش في الماء والتي لها اهمية صحية، اما الفصل السادس فيتناول معالجة مياه الفضلة مع الاشارة الى الطرق الحديثة في معالجة

التلوث المائي، اما فصله الاخير فيوضح الجهود الدولية للمحافظة على البيئة المائية، مع الاشارة الى بعض المقترحات من اجل صيانة اكبر للموارد المائية، وفي الختام نجد من المناسب توجيه الشكر والتقدير لكل من ساهم في رفد هذا الكتاب بالمصادر الحديثة، واخص بالذكر منهم الاخ احمد عبد الرزاق الضامن، كما نوجه شكرنا العميق الى الاستاذ خالد رزيك عمر لتقويمه الكتاب من الناحية اللغوية، ويجب ان نذكر هنا بأننا على استعداد لتقبل كل نقد بناء يصب في مصلحة اخراج الكتاب بافضل صورة ممكنة والله من وراء القصد.

أ.م. د. حارث جبار فهد ود. عادل مشعان ربيع

الفصل الأول

الماء سر الحياة

مقدمة:

إن للماء أهمية بالغة للحياة على ظهر الأرض، وعليه فقد أكثر القرآن الكريم من ذكره، فيخبرنا عن أهميته وطرق تكونه وتوزيعه على مناطق الأرض، فضلا عن وسائل تخزينه ﴾ الأرض ودوره ﴾ حياة الكائنات الحية، فيقول سبحانه ﴾ تبيان أهمية الماء كأساس للحياة "وترى الأرض هامدة فإذا أنزلنا عليها الماء اهتزت وربت وأنبتت من كلّ زوج بهيج" (الحج 5)، والقائل سبحانه "ألم تر أنّ الله أنزل من السماء مآء فتصبح الأرض مخضرّة إنّ الله لطيف خبير" (الحج 63)، والقائل سبحانه "هو الذي أنزل من السماء مآء لكم منه شراب ومنه شجر فيه تسيمون ينبت لكم به الزرع والزيتون والنخيل والأعناب ومن كلّ الثمرات إنّ ﴾ ذلك لآية لقوم يتفكّرون" (النحل 10 – 11).

ولا يمكن لاي حياة أن تظهر بدون الماء مصداقاً لقوله تعالى "أولم ير الذين كفروا أنّ السموات والأرض كانتا رتقا ففتقناهما وجعلنا من الماء كلّ شيء حيّ أفلا يؤمنون" (الأنبياء 30)، وأكد على أن جميع الكائنات الحية قد خلقت من هذا الماء مصداقاً قوله تعالى "والله خلق كلّ دآبّة من مآء فمنهم من يمشي على بطنه ومنهم من يمشي على رجلين ومنهم من يمشي على أربع يخلق الله ما يشاء إنّ الله على كلّ شيء قدير" (النور 45)، وقوله تعالى "ألم تر أنّ الله أنزل من السماء مآء فأخرجنا به ثمرات مختلفا ألوانها" (فاطر 27)، ويبين لنا رب العزة كيفية توزيع الماء على جميع أرجاء الأرض كما ﴾ قوله تعالى "أولم يروا أنّا نسوق الماء إلى الأرض الجرز فنخرج به زرعا تأكل منه أنعامهم وأنفسهم أفلا يبصرون" (السجدة27).

وكذلك ﴾ قوله سبحانه "ألم تر أنّ الله أنزل من السماء مآء فسلكه ينابيع ﴾ الأرض ثمّ يخرج به زرعا مختلفا ألوانه ثمّ يهيج فتراه مصفرا ثمّ يجعله حطاما إنّ ﴾ ذلك لذكرى لأولي الألباب" (الزمر 21)، وأكد القرآن كذلك على أن الماء على اليابسة قد تم توزيعه على جميع أرجائها بحيث يضمن الحياة لكل كائن حي

على ظهرها مصداقاً لقوله تعالى "وهو الذي أرسل الرياح بشرا بين يدي رحمته وأنزلنا من السماء مآء طهورا لنحيي به بلدة ميتا ونسقيه ممّا خلقنا أنعاما وأناسيّ كثيرا ولقد صرّفناه بينهم ليذكروا فأبى أكثر الناس إلا كفورا" (الفرقان 48 – 50).

ويستمر الاعجاز القراني ويؤكد على أن كمية الماء التي تسقط على اليابسة قد تم تقديرها بشكل بالغ حيث أن الزيادة في كمية الأمطار الساقطة على الأرض قد تؤدي لتدمير الحياة عليها وذلك مصداقاً لقوله تعالى "والذي نزّل من السماء مآء بقدر فأنشرنا به بلدة ميتا كذلك تخرجون"(الزخرف 11)، وقوله تعالى "أنزل من السماء مآء فسالت أودية بقدرها" (الرعد 17).

وأكد على الدور المهم الذي تلعبه الرياح في نقل السحاب المحمل بالماء ومن ثم توزيعه على جميع مناطق اليابسة كما في قوله تعالى "وهو الذي يرسل الرياح بشرا بين يدي رحمته حتّى إذا أقلّت سحابا ثقالا سقناه لبلد ميّت فأنزلنا به الماء فأخرجنا به من كلّ الثمرات كذلك نخرج الموتى لعلّكم تذكّرون" (الأعراف 57)، وقوله سبحانه "وأرسلنا الرياح لواقح فأنزلنا من السماء مآء فأسقيناكموه وما أنتم له بخازنين" (الحجر 22).

ونظراً لأهمية الماء جعله الله حقاً شائعاً بين البشر جميعاً فحق الانتفاع به مكفول للجميع بلا احتكار ولا فساد ولا تعطيل يقول الرسول الكريم (صلى الله عليه وسلم): (الناس شركاء في ثلاث في الماء والكلأ والنار) وهذا يعني ان مصادر الماء لا يجوز لأحد ان يحتكرها أو يمنعها عن الآخرين فلو ادرك الناس اهمية هذا الحديث لانتهت الصراعات التي تدور بسبب موارد المياه.

ما هو الماء:

الماء كما هو معروف هو المركب الكيميائي الاكثر إنتشاراً على سطح الأرض، وهو اسم يطلق على الحالة السائلة لمركب الهيدروجين والأوكسجين،

وكان الفلاسفة الأقدمون يعتبرون الماء عنصرا اساسيا لكل المواد السائلة، وظل هذا الإعتقاد سائدا حتى القرن الثامن عشر،حينما استطاع العالم الكيميائي البريطاني هنري كافنديش (Henry Cavendish) في العام 1781 م من تخليق الماء بحرق الهدروجين في الهواء محدثا فرقعة، ولم يكن كنه هذه التجربة معروفا الى ان اثبت الكيماوي الفرنسي أنطوان لافوازييه (Antoine Lavoisier) أن الماء ليس عنصرا بل مركبا من الهيدروجين والأوكسجين، ثم بعد ذلك أكتشف العالمان الفرنسي جوزيف لويس والألماني الكسندر فون همبولدت أن الماء يتكون من حجمين من الهيدروجين وحجم من الأوكسجين، وفي العام 1860 اعطى العالم الإيطالي ستنزالو كانزارو الصيغة التركيبة للماء (H2O) والسائدة حاليا، أي أن الماء يتكون من "جزيئات"، ويحتوي كل جزئ على ثلاثة ذرات عبارة عن ذرتين من الهيدروجين وذرة أوكسجين، ومن الجدير بالاشارة هنا الى ان قطرة الماء الواحدة تحتوي على الملايين من هذه الجزيئات اذ يوجد في الميكروليتر من الماء بحدود 30 مليار جزيئة مائية،وهذه الجزيئات تكون في حركة دائمة، وتعتمد الحالة التي يكون عليها الماء (غازية أو سائلة أو صلبة) على سرعة حركة هذه الجزيئات.

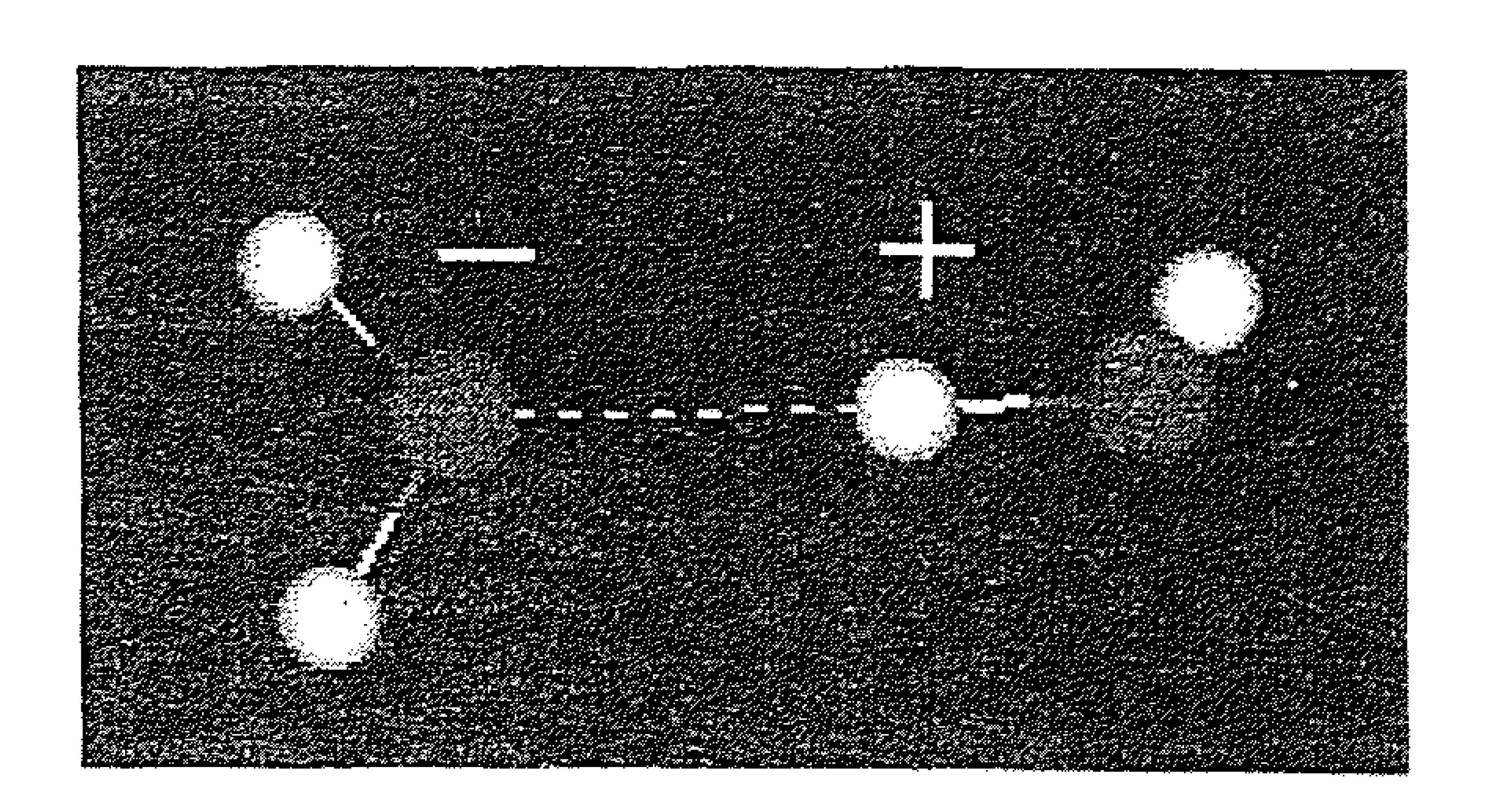
إن اهمية جزيئة الماء لاتقل باي حال من الاحوال عن اهمية الذرات المكونه له فعنصر الهيدروجين يعد من أخف عناصر الكون، وأكثرها وجوداً به، حيث تصل نسبته إلى أكثر من 90٪، وهو غاز قابل للاشتعال، ورقمه الذري هو 1، اما وزنه الذري فيبلغ 1،008، ويوجد الهيدروجين في الفراغ الفسيح بين المجرات والنجوم بنسبة ضئيلة، وتمتلك هذه الذرة عدد من النظائر،فذرة الهيدروجين العادي (H) تحتوي على بروتون واحد، ولا تحتوي على نيوترون في نواتها، ويوجد مع الهيدروجين العادي نظيران آخران، هما الديوتيريوم (Deuterium)، وهو نظير ثابت، والآخر هو التريتيوم (Tritium)، وهو نظير مشع، ويختلف هذان النظيران عن الهيدروجين العادي، في احتواء نواتهما على النيوترونات، خلافاً للهيدروجين العادي، فذرة الديوتيريوم، تحتوي نواتها على نيوترون، لذا فعدده الذري 1، ووزنه الذري 2، أمّا ذرة التريتيوم فتحتوي نواتها على 2 نيوترون، ووزنه الذري يبلغ 3،

بينما يظل عدده الذري 1، لذا فإن ذرة الديوتيريوم، أثقل من ذرة الهيدروجين مرتين، وذرة التريتيوم، أثقل من ذرة الهيدروجين ثلاثة أضعاف، ويوجد الديوتيريوم في المياه بصفة طبيعية بنسبة قليلة، حيث يُعد أحد مكونات الماء الطبيعية، أمّا التريتيوم، فيوجد في الطبيعة نتيجة تفاعل الأشعة الكونية مع هيدروجين بخار الماء، أو ينتج أثناء إجراء التفاعلات النووية.

أمّا عنصر الأوكسجين والذي يشكل الجزء الثاني من جزيئة الماء فهو ثالث أكثر العناصر وجوداً في الكون، وهو غاز نشط يساعد على الاشتعال، ورقمه الذري 8 ووزنه الجزيئي 16، كما يوجد، أيضاً، نظيران للأوكسجين، هما O17 وO18، ويوجد هذان النظيران مع الأوكسجين العادي في الماء في الطبيعة، بنسب قليلة، فالأوكسجين O17 يمثل ما يقرب 038،0٪ من أوكسجين الماء، بينما تصل نسبة نظير الأوكسجين O18، إلى حوالي 20،0٪ من الأوكسجين الموجود في الماء، كما يُكَوِّن الأوكسجين نسبة تبلغ95،20٪ من الهواء الجوي الجاف، وهو ضروري لتنفس الكائنات الحية، ويدخل في التركيب العضوي لجميع الأحياء، مع عنصري الهيدروجين والكربون، وعلى الرغم من أن الهيدروجين غاز مشتعل، والأوكسجين غاز يساعد على الاشتعال، إلاّ أنه عند اتحاد ذرتي هيدروجين مع ذرة أكسجين، ينتج الماء الذي يطفئ النار.

يرتبط الهيدروجين بالأوكسجين داخل جزيء الماء، برابطة تساهمية تعد من أقوى الروابط على الإطلاق، لذا فليس من السهل كسرها واستعادة الأوكسجين والهيدروجين من الماء، فكل ذرة هيدروجين، تحتاج إلى إلكترون إضافي في مدارها الخارجي، لتصبح ثابتة كيميائياً، وكل ذرة أوكسجين تحتاج إلى إلكترونين إضافيين في مدارها الخارجي، لتصبح ثابتة كيميائياً، لذا فإننا نجد في جزئ الماء ذرتين من الهيدروجين، تشارك كل واحدة بإلكترونها مع ذرة الأوكسجين، ليصبح في المدار الخارجي لذرة الأوكسجين 8 إلكترونات، وبذلك يكون مكتملاً.

وفي حالة ثبات كيميائي ايضا، وفي الوقت نفسه، تشارك ذرة الأوكسجين بإلكترون من مدارها الخارجي، مع كل ذرة هيدروجين، لإكمال المدار الخارجي لذرة الهيدروجين، ليصبح إلكترونين، وفي حالة ثبات كيميائي ايضا، ويسمى هذا النوع من الروابط بالرابطة التساهمية كما اسلفنا لانه تشارك فيه كل ذرة بجزء منها مع ذرة أخرى، لتكون جزيئاً قوياً للغاية يصعب تحلله، ويتجاذب كل جزيء ماء بالجزيئات المجاورة له، من خلال تجاذب كهربائي، ناتج عن اختلاف الشحنات الكهربائية، فذرتا الهيدروجين تلتقيان مع ذرة الأوكسجين في نقطتين، بزاوية مقدارها 105 درجة، في شكل هندسي غريب، جعل البعض يطلق على جزيء الماء اسم (رأس الفأر)، أي أن شكله شبيه بمثلث متساوي الساقين ويكون الأوكسجين في الرأس بما ينتج عنه توزيع الشحنات الكهربائية، بشكل يشبه قطبي المغناطيس، فطرف ذرة الأوكسجين يمثل شحنة سالبة، وطرفا ذرتي الهيدروجين يمثلان شحنة موجبة، ونتيجة لهذا الاختلاف في الشحنات الكهربائية، تتجاذب كل ذرة هيدروجين في جزئ الماء، مع ذرة أوكسجين في الجزيء المجاور، بنوع من التجاذب الكهربائي، يطلق عليه الروابط الهيدروجينية (Hydrogen Bond)، وذلك وفقاً لقانون كولوم (ينص هذا القانون على أن الشحنات الكهربية المختلفة تتجاذب)، هذه الرابطة وإن كانت تصنف من ضمن الروابط الهشة سريعة الكسر إلا أنها تتميز بأنها سريعة التكون أيضاً، ان هذا النوع من الروابط هو الذي يميز الماء ويعطيه خصوصيته المميزة، كما تفسر هذه الأصرة العديد من صفات الماء،، مثل: ارتفاع درجة الحرارة النوعية، والحرارة الكامنة للانصهار والتبخر، كما أنها مسؤولة عن صفات التوتر السطحي واللزوجة، كما سيأتي ذكره فيما بعد،



من جانب آخر نجد أن توزيع الإلكترونات عبر الرابطة التساهمية بين الذرات غير متجانس، فذرة الأوكسجين تقوم بجذب الإلكترونات نحوها أكثر مما تفعل ذرة الهيدروجين الأمر الذي يعطي ذرة الأوكسجين شحنة جزئية سالبة (-) بينما يترك على كل ذرة من ذرتي الهيدروجين شحنة جزئية موجبة (+)، إن هذا الانحياز للإلكترونات إضافة إلى ذلك الترتيب اللاخطي للذرات يجعل جزيء الماء جزيئا غير متعادل كهربائيا، وهو ما يعرف في لغة الكيمياء بـ (الجزيء القطبي)، اذن في المُركب المائي تتقاسم ذرة الاوكسجين وذرتي الهيدروجين إليكتروني الهيدروجين، هذين الاليكترونيين يقضيان وقت اطول حول ذرة الاوكسجين بالمقارنة بذرتي الهيدروجين ولذلك يوجد سحابتين اليكترونيتين ذات شحنة سالبة حول ذرة الاوكسجين، ومنطقتين ذات شحنات موجبة حول كل من ذرات الهيدروجين، وعلى اية حال الماء في صورته النقية سائل عديم اللون والرائحة، يستوي في ذلك الماء المالح والماء العذب، إلاّ أن طعم الماء يختلف في الماء العذب، عنه في الماء المالح، فبينما يكون الماء العذب عديم الطعم، فإن الماء المالح يكتسب طعماً مالحاً؛ نتيجة ذوبان عديد من الأملاح به.

ان كل جزيئات الماء تجذب بعضها البعض كما ذكرنا سابقا، وهذا ما جعلها تتجمع معا، وهذا ما يجعل نقطة الماء كروية الشكل فعند انخفاض درجة الحرارة، إلى درجة تساوى أو تقل عن الصفر المئوي، تفقد جزيئات الماء طاقتها، وتقل حركتها، ويزيد ترابطها بالروابط الهيدروجينية، بما يزيد من الفراغات بين جزيئات الماء، ويرتبط كل جزيء مادة في هذه الحالة، بأربعة جزيئات مجاورة بروابط هيدروجينية في شكل ثلاثي الأبعاد، كما في حالة الجليد.

اهمية الماء:

الماء هو المكوّن الرئيس للحياة، إذ يلعب دوراً حيوياً في جميع العمليات الحيوية، التي تحدث داخل الكائنات الحية، بدءاً من الكائنات الأولية، ومروراً بالنبات، ثم انتهاءًا بالإنسان،حيث ان الماء هو المكون الرئيس لاجسام الكائنات الحية،

اذ نجد أن من50 – 90٪ من وزن الكائن الحي ماء، وتذكرنا هذه النسبة بنسبة مساحة سطح المحيطات إلى مساحة سطح الأرض الكلية والتي تبلغ ما يقرب من سبعين بالمائة.

تنبع اهمية الماء من كونه المكون الرئيس للبروتوبلازم والتي هي المادة الأساسية في الخلايا الحية، وتتكون من محلول دهون وبروتينات وكربوهيدرات واملاح ذائبة في ماء،كما ان الدم في الحيوانات والعصير في النباتات يتكونان من الماء ويعملان على انتقال الغذاء والتخلص من النفايات، كما يلعب الماء دورا أساسيا في تكسير جزيئات الكربوهيدرات والبروتينات، وهذه العملية مستمرة في الخلايا الحية.

ان اهمية الماء بالنسبة للانسان تأتي من كونه يشكل ما يقرب من 70٪ من جسم الإنسان، وله وظائف عديدة، ولا يقتصر وجود الماء على السوائل الموجودة في الجسم، مثل: الدم، والسائل الليمفاوي، بل يدخل كذلك، في تركيب الخلايا المكوِّنة لجسم الإنسان، إذ يتراوح نسبة وجود الماء بين 65٪ و90٪، من وزن هذه الخلايا، تبعاً لنوعها، فعلى سبيل المثال، تحتوي خلايا الدم على نسبة كبيرة من الماء، بينما تقل نسبة الماء في الخلايا المكونة للعظام، كما يلعب الماء دوراً حيوياً، في جميع العمليات الفيزيولوجية في جسم الإنسان، وتختل هذه العمليات إذا فقد الجسم 10٪ من مائه، أمّا إذا زادت هذه النسبة إلى 20٪، فإنها تؤدي إلى الوفاة، ويفقد الجسم في اليوم ما يقرب من 5،2 لتر، في العمليات الفيزيولوجية المختلفة، مثل: التنفس، وعمليات الطرح من بول وبراز وعرق وعمليات الهضم، فهو يساعد في خلط الطعام ومروره بسهولة من الفم إلى المعدة، كما يجعل الطعام المهضوم في الجهاز الهضمي مواداً مائعة قابلة للامتصاص، مع تقليل صلابة البراز وتليينه ليساعد الجهاز الإخراجي في طرد السموم من الجسم على هيئة بول عن طريق الكليتين، كما يجعل انسجة الجسم مرنة ليمكنّها أداء وظيفتها، كما ان الطعام في الفم يحتاج إلى اللعاب، الذي تفرزه الغدد اللعابية في الفم، ويحتوي اللعاب على ما يقرب من 99٪ ماءً ذائباً، به الإنزيمات والأملاح المختلفة، وتُقدّر كمية اللعاب، الذي تفرزه الغدد اللعابية في اليوم، بما يقرب من لتر ونصف، وتصب المعدة والأمعاء

إفرازاتهما على الطعام، فضلاً عن إفرازات البنكرياس والعصارة الصفراوية، إذ تبلغ كمية ما يفرز، ما يقرب من لتر إلى لترين في اليوم، ومن نعم الله على الإنسان، أنه لا يفقد هذه الكميات من الماء مع خروج الفضلات، بل يعاد امتصاص جزء كبير من الماء من الأمعاء الغليظة، مع المواد الغذائية الذائبة فيه، كما تُنقي الكليتان الدم من الأملاح الزائدة، وبقية المخلفات الذائبة، والفضلات الأزوتية، مثل حامض البوليك، وإخراجها في صورة ذائبة، على هيئة بول.

فضلا عن ما تقدم فللماء في جسم الإنسان وظائف مهمة اخرى فهو مذيب للأملاح،السكريات،والبروتينات الضرورية للقيام بجميع فعاليات الخلية،وعلى سبيل المثال نقل المواد بين الخلايا يتم في محلول مائي، كما ان نقل المواد الغذائية والتخلص من الفضلات يتم بوجود الماء،كذلك أجهزة الدم،القلب،الكلى،الهضم يتعلق عملها بتزويد دائم للماء، والماء يلعب دورا رئيسياً في النشاط والتفاعل بين الاحماض الامينية والبروتين، واحدى الامثلة على ذلك عندما يقوم البروتين بإنهاء تشكيل السلسلة الببتيدية.

كما يعمل الماء على تنظيم درجة حرارة الجسم، وحفظها في مدى ثابت، فعند ارتفاع درجة الحرارة، يزيد إفراز الجسم من العرق، وبذا يعمل على تلطيف درجة حرارة الجسم، وخفضها عند تبخره، أمّا عند انخفاض درجة حرارة الجو، فإن الطاقة التي ينتجها الجسم، توزع على جميع أنحائه، عن طريق الدم والسائل الليمفاوي، حيث يمثل الماء القاعدة الأساسية لهذه السوائل، ويعد موصلاً جيداً للحرارة.

ولا تختلف أهمية الماء بالنسبة للنبات، عن أهميته للكائنات الحية الأخرى، ففي الحقيقة، وبمقارنة وزنٍ بوزن، يحتاج النبات الماء أكثر من الحيوان، فأكثر من 90٪ من الماء، الذي يمتصه النبات عن طريق جذوره، ينطلق في الجو على هيئة بخار ماء، كما يستخدم النبات الماء، في تصنيع غذائه، فالنبات يمتص الماء من التربة عن طريق الجذور، ثم يرتفع الماء من خلال ساق النبات إلى الأوراق، عن طريق الخاصية

الشعرية، وفي الأوراق يتحلل الماء إلى عنصريه، الأوكسجين والهيدروجين، بواسطة الصبغات الخضراء في عملية حيوية يطلق عليها "البناء الضوئي"، وفي هذه العملية، يتحد الهيدروجين الناتج عن تحلل الماء، مع ثاني أوكسيد الكربون، الذي تمتصه أوراق النبات من الهواء، لتصنيع سكر، ثم مركبات عضوية، كربوهيدراتية، ودهنية، وبروتينية لغذاء النبات، أمّا الأوكسجين الناتج من تحلل الماء، في عملية البناء الضوئي، فينطلق معظمه في الهواء الجوي.

ولا يقتصر دور الماء في ظاهرة الحياة على كونه السائل الوحيد الذي يسهل التفاعلات الكيميائية بين جزيئات المواد التي تلزم لبناء أجسام الكائنات الحية بل إنه يدخل في تركيب المواد العضوية التي تنتجها الخلايا الحية، فالمواد العضوية تتكون بشكل رئيسي من أربعة عناصر وهي الكربون والهيدروجين والأوكسجين والنيتروجين وكميات قليلة من بقية العناصر الأرضية كالكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والحديد والفوسفور واليود، إن المصدر الرئيسي للكربون والأوكسجين هو ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الهواء أو المذاب في الماء، وأما مصدر الهيدروجين فهو الماء، وأما مصدر النيتروجين فهو الهواء الذي تقوم الكائنات الحية الدقيقة بتثبيته في تراب الأرض ومياهها، إن عملية تصنيع المواد العضوية من مكوناتها الأساسية أو موادها الخام تبدأ أولا بتصنيع سكر الكلوكوز في خلايا النباتات والطحالب ومن ثم يستخدم هذا السكر لاحقا لتصنيع مختلف أنواع المواد العضوية، ويتم تصنيع سكر الكلوكوز من ثاني أوكسيد الكربون والماء في داخل البلاستيدات الخضراء الموجودة في خلايا النباتات والطحالب بوجود الطاقة الشمسية من خلال عملية التركيب الضوئي، وفي هذه العملية تتحد ستة جزيئات من ثاني أوكسيد الكربون وستة جزيئات من الماء لتنتج جزيئا واحدا من سكر الكلوكوز وستة جزيئات من الأوكسجين، ويقدّر العلماء كمية الماء الذي تمتصه النباتات من الأرض والطحالب من 410 بلايين طن، وكمية ثاني أوكسيد الكربون التي تأخذه النباتات من الهواء والطحالب من البحر 500 بليون طن،وكمية الطاقة التي تستمدها من ضوء الشمس بجزء من ألفي جزء من مجموع الطاقة

الشمسية التي تصل إلى الأرض،وذلك في السنة الواحدة، وفي المقابل تنتج البلاستيدات الموجودة في النباتات والطحالب 341 بليون طن من سكر الكلوكوز و 205 بلايين طن من الماء و 364 بليون طن من الأوكسجين، ومن عجائب التقدير أن سكر الكلوكوز عند تحلله بعد الاستفادة من الطاقة المخزنة فيه يعيد هذه الكميات الضخمة من الماء وثاني أوكسيد الكربون إلى الطبيعة ليعاد استخدامها من جديد.

- **خصائص الماء الفريدة:**

يؤكد العلماء على أن الحياة ظهرت على الأرض بسبب الخصائص الفريدة العجيبة للماء فبدون هذه الخصائص لا يمكن للحياة أن تظهر أبداً، وممّا أثار استغراب العلماء أن جميع خصائص الماء الفيزيائية والكيميائية هي خواص شاذة، أيّ أنها تختلف عن خواص مركبات مشابهة لها في التركيب.

1. الماء كمذيب:

ان قدرة الماء الفائقة على الإذابة،والتي لا تقدر بثمن للكائنات الحية تعود إلى القطبية التي شرحناها سابقا، فالماء يستحق ان يطلق عليه وصف "المذيب العام"بكل لما لهذه الكلمة من معنى ذلك أن أغلب المواد تذوب في الماء، ولكن بدرجات متفاوتة، وترجع سبب قوة إذابة الماء للمواد الأخرى، إلى قطبية جزيئات الماء الناتجة عن الشكل الهندسي المائل للروابط التساهمية، فكثير من ذرات المواد الذائبة، ترتبط بعضها ببعض، من خلال قوى جذب إلكتروستاتيكي بسيط، ناتجة عن احتوائها على شحنات مختلفة، وهذه الأنواع من الروابط تُعدّ أضعف بكثير من الروابط التساهمية الموجودة داخل جزئ الماء، والروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء.

ونتيجة لوجود ذرات تلك المواد في الماء، فإنها تحاط بجزيئات الماء، وتعزلها فيزيائيا بعضها عن بعض،وتتأين وتصبح ذائبة في الماء، وعلى الجانب الآخر، يظل الماء محتفظاً بتركيبه الأساسي، بسبب قوة الروابط التساهمية والهيدروجينية،لذا،

تُعدّ مقدرة الماء على إذابة العديد من المواد العضوية وغير العضوية، من دون التفاعل معها، أو تغيير خصائصه الكيميائية الأساسية، من الخصائص الفريدة التي يتميز بها الماء، وهذا على عكس المذيبات العضوية التي لا تقدر على إذابة أي مادة، دون التفاعل معها، فعلى سبيل المثال، يذوب السكر في الماء عن طريق تداخل جزيئات الماء داخل جزيئات السكر، حيث تقوم بعزلها فيزيائياً، والاحتفاظ بها داخل الفراغات الموجودة بين جزيئات الماء، وبالتالي يذوب السكر عن طريق انتشار جزيئاته بين جزيئات الماء دون التفاعل معها، وهذا الذوبان هو عكس ذوبان ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) في الماء، حيث تتم الإذابة عن طريق تأين (Ionization) كلوريد الصوديوم، إلى أيونات الكلوريد السالبة وأيونات الصوديوم الموجبة، ولهذا السبب، نجد أن محلول السكر في الماء المقطر، يكون غير قابل للتوصيل الكهربائي نتيجة عدم تكون أيونات حرة من عملية الذوبان الفيزيائي للسكر، حيث تعمل هذه الأيونات الحرة على حمل إلكترونات التيار الكهربائي في الماء، فيما يكون محلول الملح (كلوريد الصوديوم)، الذائب في الماء المقطر، موصلاً جيداً للكهرباء، نتيجة ازدياد أيونات الكلوريد وأيونات الصوديوم اللازمة لحمل إلكترونات التيار الكهربائي في الماء، وكلما ازداد تركيز هذه الأيونات، ازدادت مقدرة هذا المحلول على التوصيل الكهربائي.

ان لصفة الإذابة هذه أهمية خاصة في تغذية الكائنات الحية، وذلك لأن تغذية الكائنات الحية واستفادتها من الغذاء، تعتمد بصورة رئيسية، على إذابة المواد الغذائية في الماء، سواء تم ذلك قبل امتصاص المواد الغذائية، أو بعد امتصاصها وانتقالها في جسم الكائن الحي، وتسبب هذه الخاصية بعض المشكلات في كثير من الأحيان، حيث يصعب الحفاظ على الماء بحالة نقية، لأن نقائه يبدأ في التناقص تدريجياً، فالامطار واثناء هطولها، تذيب كثير من العوالق والشوائب الموجودة في الجو، وبذلك تهبط إلى الأرض محملة بالكثير من المواد الكيميائية والأتربة، ان صفة المذيب العام جعلت الماء هو السائل الوحيد من بين جميع السوائل الطبيعية الذي يصلح لأن يكون وسطاً مناسباً لحدوث التفاعلات الكيميائية التي تلزم

لتصنيع المواد التي تحتاجها أجسام الكائنات الحية، وهذه الخاصية بالغة الأهمية للحياة حيث أن الكائنات الحية تحتاج لآلاف الأنواع من الجزيئات التي يجب أن تصنع في داخل هذا الماء، وهذا لا يمكن أن يتم إلا إذا كانت هذه الجزيئات قابلة للذوبان في الماء، ويستطيع الماء إذابة مختلف أنواع العناصر والمركبات العضوية وغير العضوية، سواء أكانت هذه المواد في حالتها الصلبة أو السائلة أو الغازية، فبها أصبح الماء من أقوى المذيبات حيث يسهم بفعالية في إتمام عمليات الهضم وتجديد الدم والتخلص من المواد السامة (الفضلات) في أجسام الكائنات العضوية وغير العضوية على حد سواء، ان هذه الخاصية بالذات هي مفتاح لنشوء الحياة، إذ تساعد احجار بناء الحياة (البروتين والجينات) على إتخاذ اشكالا ثلاثية الابعاد والتي تقرر الوظائف الحيوية، حيث عند تفاعل الجينات مع البروتين من الضروري ان يكون مناسبين لبعضهم الى حد التتطابق، وإذا كان هناك خلل يمنع الانسجام المتطابق لايحدث التفاعل، الامر الذي يؤدي في اسوء الاحوال الى المرض او التشوه او الموت،اذ انه من المعروف ان البروتينات الجديدة تخرج من رحم الخلية بالارتباط مع السلسلة الببيتيدية المؤلفة من الاحماض الامينية، ولكن فقط في السائل الخلوي يصبح البروتين جاهزاً بشكله الثلاثي الابعاد، وعليه فقسم من الاحماض الامينية تكره الماء ولذلك تنسحب الى مركز البروتين بشكل طبيعي في حين القسم الاخر يحب الماء، ولذلك يتموضع على سطح البروتين في إتصال مباشر مع الماء، بمعنى ان البيئة المائية وضعت بصماتها على طريقة تشكل البروتين،وفي محاولة لتمثيل العملية من خلال الكمبيوتر اظهرت السلسلة المزدوجة للحامض الاميني ميلا كبيرا للانفراط إذا حاول المرء بناء السلسلة الامينية بدون وجود الماء، هذا بفضل ان الجزيئات المائية تخلق روابط مائية (هيدروجينية) بين مجموعة الفسفور في سلسلة الاحماض الامينية وإلا فأنهم سيطردون بعضها البعض، فضلا عن ذلك أن الماء له القدرة على تأيين بعض جزيئاته وهذه الظاهرة ضرورية لإتمام كثير من التفاعلات الكيميائية التي تجري في داخل الخلايا الحية، فجزيء الماء المتأين ينتج أيون الهيدروجين الموجب والمسؤول عن ظاهرة الحموضة وأيون الهيدروكسيل

السالب المسؤول عن ظاهرة القاعدية، وقد وجد العلماء أن بعض الأنزيمات لا تعمل إلا عند درجات محددة من الحموضة أو القاعدية في الماء.

2. التماسك والتلاصق:

تسمى ظاهرة شد جزيئات سطح سائل ما بعضها لبعض وبمصطلح الفيزيائيين بالتوتر السطحي(Surface Tension)، وتقاس بالقوة المؤثرة على وحدة الأطوال (الداين/سم)، ويُعرَّف التوتر السطحي على أنه "تماسك السطح الحر للسائل، لشغل أقل مساحة ممكنة"، أمّا اللزوجة (Viscosity)، فهي "مقاومة السائل للحركة"، وتتسبب الرابطة الهيدروجينية، في جعل قوة التوتر السطحي للماء ولزوجته، مناسبتين لاستمرار الحياة، فنجد الماء يساعد من خلال هاتين الخاصيتين، على تماسك مواد الخلية، مع توصيل الماء والغذاء لجميع أجزاء الجسم، ويتساوى في ذلك النبات والحيوان، كما تساعد اللزوجة والتوتر السطحي، كذلك، في إبطاء فقدان الماء من أوراق النبات عن طريق الثغور، كما تعمل هاتان الخاصيتان على طفو المراكب والسفن والبواخر، على سطح الماء، دون الغوص فيه، نتيجة الأحمال الثقيلة،كما أنه يمكن وضع أجسام مختلفة على سطح الماء دون ترسّبها.

تبدو هذه الظاهرة واضحة عندما نملأ كوبا بالماء إلى حافته ولا ينسكب، ونراها ايضا عندما تسير العناكب على سطح المياه الراكدة دون أن تبتل أقدامها وكأنها تسير على سطح صلب، وفي ميل الماء إلى التكور على هيئة قطرات بدل الانتشار على السطح الذي يسكب عليه، وفي تكوين ذلك الحاجز غير المرئي بين المياه العذبة والمالحة عند مصاب الأنهار في البحار والتي جاءت الإشارة إليها في قوله سبحانه(وَهُوَ الَّذِى مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا(الفرقان 53)، وفي الآية الكريمة إشارة واضحة إلى شدة تلك القوة الحاجزة والتي تؤكد عظم التوتر السطحي للماء.

ليس الماء وحده له هذه الروابط المائية الخفية بفضل ذرة الهيدروجين، إذ هناك سوائل اخرى لها اصية مماثلة كالاسيتون والكحول، ولكن روابطها ليست قوية كما لدى الماء، الامر الذي يعطي الماء القدرة على تشكيل سلسلة طويلة وقوية، ووفقا لهذه القوة يبدو سطح السائل كقطعة جلد مشدودة على إطار، وباستثناء الزئبق فإن عنصر الماء يمتلك أعلى قيمة توتر سطحي بين جميع السوائل.

ويمكن التوضيح اكثر إذا نظرنا الى الماء الموجود في كأس، نرى ان جزيئات الماء الواقعة في وسطه لها روابط من جميع الاتجاهات الامر الذي يحقق لها الانسجام وحركة متناسقة مع جيرانها، في حين الجزيئات الواقعة عند الاطراف، روابطها غير مشبعة، يمكن القول إذن ان هناك جزيئات في حالة نظام واخرى بلا نظام كالغاز، ومع ذلك فأن جزيئات هذه المناطق تتبادل مواقعها بإستمرار بين النظام واللانظام بسبب ان الروابط تتشكل وتتحطم بإستمرار،وبسبب هذه الظاهرة (التنقل بين الحالتين) تزداد قدرة الماء على التماسك بين اجزائه بالمقارنة مع السوائل الغير قطبية.

وفي ضوء ما تقدم فأن أهم خصائص الماء الناتجة عن التوتر السطحي هي قدرة الماء الفائقة على تسلق جدران الوعاء الذي يوضع فيه، وكلما كان قطر الجدار الذي يتسلقه صغير كلما أرتفع فيه مسافة أعلى، هذه الخاصية الحيوية للماء، والمعروفة بالخاصية الشعرية (Capillary action) التي لها أهميتها الكبرى حيث ينتقل الماء والمواد المذابة فيه خلال فراغات المواد المسامية بفعل قوة الشد السطحي و التصاق وتماسك الماء.

وهذه الخاصية نجدها في جذور النباتات حيث يمتص الماء من التربة مذابا فيه المواد المغذية، لينتقل بفعلها من اسفل لأعلى ضد الجاذبية ويظل يرتفع حتى تتغلب الجاذبية عليه وتوقف صعوده،اذن خاصية التماسك توضح صعود الماء الى اعلى الشجرة،عندما يكون بإمكانية الشجرة النمو الى ارتفاعات تصل الى مئة متر يفترض ذلك ان يكون بإمكان الماء الوصول الى نفس هذا الارتفاع للوصول الى

الاوراق والاغصان العليا، من اجل ذلك يستغل الماء خاصية الرابطة المائية للصعود الى الارتفاعات العليا،ولنتصور هذا لو وضعنا أنبوبة شعرية زجاجية في كوب ماء سنجد أن مستوي الماء بها أعلى من مستوي الماء في الكوب، كما ان الخاصية الشعرية هي التي تعمل على حفظ الماء في خلايا جميع الكائنات الحية بنفس النسبة رغم تفاوت ارتفاع مواقعها في جسم الكائن، ولولا هذه الخاصية لتجمع الماء في الأجزاء السفلى من جسم الكائن بسبب فعل الجاذبية الأرضية، ونعود ونؤكد ان اساس نجاح هذه الظاهرة قائم على قدرة الماء على خلق الرابطة المائية التي تمسك الجزيئات ببعضها من الجذر وحتى القمة، لقد اظهرت الحسابات ان الماء قادر على الصعود الى مسافة ثلاث كيلومترات، وبعد ذلك لايمكنه الصعود الى مستوى اعلى بسبب الجاذبية الارضية، أما الخاصية الاخرى فهي قدرة الماء العالية للالتصاق بالأشياء التي يلامسها وهذه الخاصية تساعد في انتشار الماء بكل سهولة في أجسام الكائنات الحية بحيث يمكنه الوصول لكل خلية من خلايا أجسامها التي لا يمكن لها أن تعيش بدونه.

3. الاستقرار الحراري المثالي:

لعل خواص الماء الحرارية من أكثر خصائصه شذوذا وغرابة، ان القدرة على احتواء الحرارة هي احدى اهم خصائص الماء، وتعني ان الماء يحتاج الى حرارة اكثر بالمقارنة مع بقية السوائل الاخرى، كما يؤثر ارتفاع درجة حرارة الماء على كل خصائصه الطبيعية كالكثافة والشد السطحي وذوبان الغازات في الماء واللزوجة وغيرها كما هو مبين في الجدول التالي:

جدول 1 يوضح علاقة الكثافة واللزوجة بدرجة حرارة الماء

درجة الحرارة	الكثافة (gm/ml)	اللزوجة
0	0,99984	787،1
5	0,99997	519،1
10	0,99970	307،1
15	99910،0	139،1
20	0,99820	002،1
25	0,99704	890،0
30	99565،0	798،0

ان من مظاهر استقرار الماء الحراري أيضا ارتفاع معامل الحرارة النوعية له، مما يعني أن الماء يحتاج إلى كمية كبيرة جداً من الحرارة حتى يسخن مقارنة مع العناصر الأخرى، وعليه فقدرة الماء على احتواء الحرارة تؤدي الى استقرار الحرارة في البحر وبالتالي إستقرار المناخ على الارض،ان خاصية إحتواء الحرارة، هي سمة مهمة للماء، كون الماء يحتاج الى حرارة إضافية في ما يسمى النقطة الحرجة، ويفسر بضرورة الحاجة الى تحطيم الروابط المائية او الخفية اولا قبل ان تتمكن الحرارة من تحريك جزيئة الماء لتصبح في الحالة البخارية.

عند السوائل الغير بولارية كالزيت، يختلف الامر، إذ لاتوجد روابط مائية خفية بين الجزيئات، الامر الذي يجعل الجزيئات تدور حول نفسها بسرعة عند التعرض للحرارة، النقطة التي تلتقي فيها الحالات الثلاث تسمى النقطة الثلاثية، حيث تتغير الحالة فجأة منتقلة بين الحالات الثلاث إعتمادا على تذبذبات الحرارة والضغط الضئيلة، فضلا عن ذلك الماء يملك على الاقل نقطة حرجة اخرى حيث تزال الحدود بين حالتين فيزيائتين، هذه النقطة الحرجة هي التي بين الحالة السائلة والغازية، والتي تقع عند 374 درجة و221 ضغط جوي، هنا تنفصم

الروابط المائية بدرجة يصعب التفريق بين حالتي الماء، وجزيئات الماء تتنقل بسرعة بين كلا الحالتين، وعلى اية حال يعتقد الفيزيائيين بوجود نقطة حرجة ثالثة بين الحالة السائلة والحالة الصلبة، ولكن لحد الان لم يتمكن احد من تحديد القيم الضرورية للوصول الى هذه الحالة في التجارب المختبرية، وعليه فاذا وضعنا قدرا فارغا على النار، فسرعان ما يسخن حتى الاحمرار، بينما لو سكبنا فيه بعض الماء ووضعناه من جديد لاستغرق الماء وقتا كبيرا حتى يسخن، ذلك أن الحرارة النوعية للماء أكبر عشر مرات من الحرارة النوعية للحديد، وقد تصل الحرارة النوعية للماء إلى مائة ضعف الحرارة النوعية لكثير من المعادن، ولو ذهبنا إلى شاطئ البحر في وقت الظهيرة لوجدنا الرمل أشد حرارة من البحر بينما الوضع ينعكس تماما في الليل، والسبب أن الحرارة النوعية للماء أكبر بحوالي خمس مرات من الحرارة النوعية للرمل، فالماء يسخن ببطء ويفقد حرارته أثناء تبريده أيضا ببطء، بينما الرمل يسخن بسرعة ويبرد بسرعة، ويقي أن نذكر أن الحرارة النوعية للماء تساوي (1 سعرة / غرام)، بمعنى أنه لرفع حرارة واحد غرام من الماء درجة مئوية واحدة فإننا نحتاج إلى واحد سعرة، وهذا نتيجة وجود الرابطة الهيدروجينية في تكوين جزيئات الماء.

ان الحرارة النوعية هي مقياس لكمية الطاقة التي تختزنها كمية محددة من المادة عندما ترتفع درجة حرارتها بمقدار درجة مئوية واحدة،فعندما يتم تسخين المواد فإن كمية الطاقة التي تختزنها تتناسب مع كتلتها ومقدار الزيادة في درجة حرارتها وكذلك حرارتها النوعية، وعندما تبرد هذه المواد فإنها تشع جميع الطاقة التي اختزنتها إلى الجو المحيط بها إذا ما هبطت درجة حرارتها إلى نفس الدرجة التي كانت عليها قبل تسخينها.

ويجب ان نذكر هنا بأنّ هذه الخاصية تعد من الخصائص المهمة، التي تمكن الكائن الحي من استمرار وظائفه الحيوية، أثناء حدوث تغييرات مفاجئة في درجة الحرارة المحيطة به، من دون حدوث خلل في هذه الوظائف، كما ان هذه الخاصية هي التي وفرت للكائنات الحية درجات الحرارة المناسبة لعيشها على سطح

الأرض فلولا وجود الماء بهذه الكميات الكبيرة على سطح الأرض لهبطت درجة حرارة سطح الأرض إلى درجات متدنية جدا بسبب تدني الحرارة النوعية للمواد المكونة للقشرة الأرضية، ولكن مياه المحيطات التي تغطي سبعين بالمائة من مساحة سطح الأرض تقوم بامتصاص كميات كبيرة من الطاقة الشمسية خلال النهار ومن ثم تقوم أثناء الليل بإشعاع هذه الحرارة إلى جو الأرض لكي يحافظ على درجة حرارة سطح الأرض ضمن الحدود المسموح بها، ومن فوائد الاستقرار الحراري للماء أن درجة غليان الماء ودرجة تجمده تستخدمان كنقطتين مرجعيتين لمعظم الثرمومترات، كما أن حرارته النوعية العالية جعلته يستخدم كمبرد في راديتر السيارات وفي كثير من المصانع، وبفضل الحرارة العالية اللازمة لتبخر الماء أو لتجمده نتج فصلا الربيع والخريف كمرحلتين انتقاليتين بين الشتاء والصيف، وكما أن معامل الحرارة النوعية للماء مرتفع فكذلك الحال بالنسبة لمعاملي الحرارة الكامنة للإنصهار والتبخر، وتُعْرَّف الحرارة الكامنة، لانصهار الماء المتجمد، بأنها: "كمية الحرارة اللازمة لصهر غرام واحد من الثلج (أي تحويله من ثلج صلب إلى ماء سائل)، دون تغيير في درجة حرارة الماء"، وهي تبلغ 80 سعراً حرارياً، أمّا الحرارة الكامنة لتبخر الماء؛ أي تحويله من الحالة السائلة إلى بخار الماء، فتعرف على أنها "كمية الحرارة اللازمة لتبخر غرام واحد من الماء من دون تغيير درجة حرارته"، وهي تبلغ 540 سعراً حرارياً.

ان تحول الماء إلى بخار، يتطلب قدراً هائلاً من الحرارة، فالماء يغلي، عادة، عند درجة حرارة (100 درجة مئوية)، ولكن بوصول الماء إلى درجة الغليان، فإنه لا يتحول مباشرة إلى بخار، إنما هناك فترة يمتص الماء خلالها قدراً إضافياً من الحرارة، من دون حدوث أي زيادة في درجة حرارته، قبل تحوله إلى بخار ماء، لذا، فإن بخار الماء يحتوي على قدر هائل من الطاقة الحرارية، وهي الطاقة التي اكتشفت منذ القرن الثامن عشر، ولما كان بخار الماء يحتوي على قدر كبير من الطاقة الحرارية، فإنه يتكثف عند انخفاض درجة الحرارة، مع انبعاث طاقته الحرارية، ويصير البخار سائلاً، ويسقط على هيئة أمطار، ومن خصائص الماء الفريدة المرتبطة بالحرارة، وجوده في حالات المادة الثلاثة، الغازية والسائلة والصلبة وذلك تحت الظروف العادية من الحرارة والضغط الجوي، وبمقارنة كمية الحرارة الكامنة

للماء، بغيره من السوائل، نجد أن كمية الحرارة الكامنة للانصهار والتبخر للماء كبيرة جداً، ويرجع ذلك ايضا إلى وجود الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء.

ان الماء لا يقوم بدوره البالغ الاهمية في الحياة الا وهو في الحالة السائلة وهذا يتطلب أن يكون الماء في هذه الحالة السائلة على مدى نطاق واسع من درجات الحرارة، وقد وجد العلماء أن الماء يتميز على جميع المركبات السائلة الأخرى في وجود فرق كبير بين درجة تجمده ودرجة غليانه، فهو يتجمد عند درجة الصفر ويغلي عند درجة مائة درجة مئوية أيّ بفارق مائة درجة، وبهذه الخاصية فإن الماء يشذ شذوذا كبيرا عن بقية هيدرات العناصر الأخرى، فعند مقارنة درجة غليان الماء بدرجات غليان العناصر الهيدروجينية الأخرى المشابهة له في التركيب الكيميائي مثل كبريتات الهيدروجين أو الميثانول أو الإيثانول، نجد ان تلك العناصر تملك درجات غليان منخفضة جداً رغم كبر وزنها الجزيئي، ولو أن الماء يتبع نفس سلوك تلك العناصر لكانت درجة غليانه وفقاً لوزنه الجزيئي الصغير يجب أن تكون ثمانين درجة تحت الصفر إذا ما قورن مع مركبات مشابهة له في التركيب، اما درجة تجمده كان يجب أن تكون مائة درجة تحت الصفر، أي لولا هذا الشذوذ لوجد الماء على الأرض وعند درجات الحرارة الاعتيادية في حالة بخار فقط، فمثلاً توجد مركبات أخرى مكونة من ذرتي هيدروجين وذرة من عنصر آخر، مثل: السيلينوم أو الكبريت، وهذه المركبات لا توجد في حالة سائلة، إلاّ في حرارة منخفضة للغاية (– 100 درجة مئوية إلى – 90 درجة مئوية)، فلو استبدلت ذرة الاوكسجين في جزئ الماء بأي مركب آخر، فلن يكون هناك ماءً سائلاً على وجه الأرض، حيث إن درجة حرارة سطح الأرض أعلى دائماً من (– 90 درجة مئوية)، وبالنظر إلى الفرق بين درجتي الحرارة اللازمتَيْن للتجمد والغليان، فإن الماء يبقى سائلاً في مدى واسع من درجات الحرارة.

ومن عجائب التقدير في خلق الأرض أن التفاوت في درجة حرارة معظم مناطق سطحها يقع ضمن المدى الذي يكفل بقاء الماء في حالته السائلة، ولهذا نرى أن معظم الماء الموجود على سطح الأرض هو في الحالة السائلة، ومن العجيب ايضا

أن الكائنات الحية التي تعيش في مناطق تهبط فيها درجات الحرارة إلى ما دون درجة تجمد الماء قد تم تزويدها بآليات تمنع الماء الموجود في أجسامها من التجمد على الرغم من أن الماء يشكل ما يزيد عن ثمانين بالمائة من أجسامها.

4. منحنى الكثافة الفريد:

إذا أخذنا حجماً معيناً من الماء وقمنا بتبريده فإن حجمه ينكمش وبالتالي كثافته تزداد مثله مثل أي سائل آخر، ان أكبر كثافة للماء تحدث عندما تكون درجة حرارته أربع درجات مئوية أيّ أن الماء في حالته الصلبة أخف منه في حالته السائلة، وهذا على عكس جميع السوائل الأخرى التي تزيد كثافتها كلما قلت درجة حرارتها، غير أن المدهش في الماء أن هذه الخاصية تتوقف عندما تصل درجة حرارة الماء إلى (4مْ)، إذا قمنا بتبريد الماء أكثر فإن حجمه بدلا من أن ينكمش يتمدد وتقل كثافته تبعا لذلك، حتى أنه حين يتجمد (أي تصبح درجة حرارته صفرا مئويا) فإن كثافته تكون قد انخفضت بمقدار (10٪) عنها عند درجة حرارة (4مْ)، وهذا يفسر لماذا تنفجر أنابيب المياه عند التجمد، ولماذا يطفو الجليد على سطح الماء ولا تتجمد البحيرات من الأسفل إلى الأعلى، ومما تقدم نجد وبضوح قدرة الخالق سبحانه وتعالى والذي حفظ للكائنات البحرية في المناطق المتجمدة حقها في الحياة.

ان تفسير ذلك هو وجود فراغات في الثلج بسبب الأربطة الهيدروجينية بين الجزيئات،لذلك المبنى غير متكاثف،عند التسخين تتكسر بعض الأربطة الهيدروجينية ويتبعه إرتفاع بالكثافة، ومع الإستمرار بالتسخين تتكسر أربطة إضافية ولذلك تنخفض الكثافة، وللتوضيح اكثر فعندما نبرد الماء، تبدأ كثافته تزداد في البداية بشكل طبيعي، بسبب ان الجزيئات التي في حالة الفوضى تصبح اقرب الى بعضها اكثر فأكثر، وعندما تصبح درجة الحرارة اقل من 4 مئوية يصبح الماء فجأة اخف، هذا بفضل ان الجزيئات تبدأ بالتحول الى بنية البلورات الجليدية ويزداد عددها لتشكل شبكة من الروابط الهيدروجينية، وكلما أزداد اعداد الذرات

الداخلة في الشبكة كلما ابتعدت الذرات عن بعضها، وبالتالي ازدادت الفراغات بينها الامر الذي يجعلها اخف من الماء وتأخذ حجما اكبر، وعندما تنخفض درجة حرارة الماء إلى درجة الصفر المئوي، تفقد جزيئات الماء طاقتها، وتقل حركتها، ويزيد ترابطها بالروابط الهيدروجينية، بما يزيد من الفراغات بين جزيئات الماء كما في حالة الجليد.

اذن وفي ضوء ما تقدم يُعد الماء مثالاً للخروج على القاعدة العامة في العلاقة بين درجة الحرارة والكثافة، والماء عندما يتجمد يتمدد في الحجم وتقل كثافته، ويطفو كقشرة من الجليد فوق سطح الماء، و لولا هذه الخاصية الشاذة والعلاقة بين انخفاض الكثافة وانخفاض درجة الحرارة للماء، لازدادت كثافة الثلج المتكون على السطح عن بقية الماء، وهبط إلى القاع، معرضاً سطح الماء، الذي تحته، إلى درجة حرارة منخفضة، فتتجمد كل طبقات الماء، في مياه المناطق القطبية، أوالمتجمدة بسبب شدة البرودة ويستحيل معها الحياة، لكن الحقيقة نجدها مع انخفاض درجة حرارة الجو، تتجمد طبقات الماء العليا فقط، وتقل كثافتها وتتمدد، فتطفو على سطح الماء، وتعزل بقية الماء تحتها، عن برودة الجو، فيبقى الماء سائلاً ويسمح باستمرار الحياة.

وعليه فإن الماء عند سطح المحيطات إذا ما تعرض لدرجات حرارة منخفضة فإنه يهبط للأسفل إذا ما بلغت درجة حرارته أربع درجات مئوية ويتم استبداله بماء أسخن منه من أسفل المحيطات ممّا يحول دون تجمد السطح، وإذا ما بلغت درجة حرارة جميع ماء البحر أربع درجات مئوية فإن أول ما يبدأ بالتجمد ماء السطح ممّا يشكل طبقة عازلة تحول دون تجمد بقية ماء البحروبهذا وفرت هذه الآلية العجيبة حياة آمنة لجميع الكائنات الحية البحرية في مياه البحار والمحيطات، وعند درجة حرارة لا تقل عن أربع درجات مئوية فسبحان القائل "وخلق كلّ شيء فقدّره تقديرا".

5. المقاومة للتحلل والشفافية للضوء:

نظراً إلى وجود الرابطة التساهمية داخل جزيء الماء، وترتيب ذراته المرتبطة بعضها ببعض، بشكل هندسي مائل، كما اوضحنا سابقا فإنه من الصعب تحلل جزيئات الماء إلى عناصرها الأولية، تحت الظروف الطبيعية، إلاّ أنه تحت ظروف خاصة، يتحلل الماء بنسبة قليلة تبلغ 11٪ إلى عنصريه: الهيدروجين والأوكسجين، في ظل درجة حرارة معينة، وأما الخاصية الاخرى للماء فهي شفافيته للضوء حيث أنه يسمح بمرور الضوء المنبعث من الشمس من خلاله بأقل فقد ممكن، وهذه خاصية بالغة الأهمية لدوام حياة الكائنات في بحار ومحيطات الأرض، فحياة جميع الكائنات البحرية تقوم على ما تنتجه الطحالب من مواد عضوية، وهذه الطحالب تقوم بتصنيع المواد العضوية من العناصر والمركبات الذائبة في الماء بوجود الطاقة الشمسية من خلال عملية التركيب الضوئي، ولو لم يكن الماء شفافا للضوء لما تمكنت أشعة الشمس من الوصول إلى الطحالب التي تعيش في الطبقات العليا من مياه المحيطات، ولتوقفت عملية تصنيع المواد العضوية التي تتغذى عليها جميع الكائنات البحرية، كما تساعد شفافية الماء الكائنات الحية البحرية على رؤية الأشياء من حولها من خلال نظام الإبصار التي زودها الله بها، وتساعد كذلك الإنسان والحيوان على كشف وجود شوائب ضارة في الماء قبل أن تقوم بشربه.

6. التأين والأس الهيدروجيني:

تعرف عملية التأين بأنها "عملية تحول جزيئات مركب ما، إلى أيونات"، وبالنسبة إلى الماء، فإن معدل تأينه يُعدّ ضعيفاً جداً، إذا ما قورن بمعدلات التأين في المركبات الأخرى، إلاّ أنه قد يحدث تحلل لبعض جزيئات الماء، إلى أيوني الهيدروجين الموجب ($H+$)، والهيدروكسيل السالب ($OH-$)، وقد وجد أن زيادة تركيز أيون الهيدروجين، تعني زيادة الحموضة لهذا السائل، في حين تعني الزيادة في تركيز أيون الهيدروكسيل، زيادة القلوية، وفي حالة الماء النقي، يكون عدد أيونات الهيدروجين، مساوياً لعدد أيونات الهيدروكسيل، أي أنه متعادل،وتُقاس الحموضة

(تركيـز أيونـات الهيـدروجين) في المـواد المختلفـة، عـن طريـق مقيـاس الأس الهيدروجيني والـذي يتراوح بين صفر و14، فالمواد المتعادلة الحموضة، مثل الماء النقـي، قيمـة الأس الهيـدروجيني لهـا = 7، أمّـا الأحمـاض، فـإن قيمـة الأس الهيدروجيني لها تراوح بين صفر و9،6، أمّا المواد القاعدية (القلوية)، فإن قيمة الأس الهيدروجيني لها تتراوح بين 7 و14.

ان معظم العمليات الحيوية تتم في مجال محدود من الأس الهيدروجيني، فإذا ما زادت أو قلت درجة الأس الهيدروجيني عن هذا المجال، فإن العمليات الحيوية أو الوظـائف الطبيعيـة للجـسم تختـل، فعلـى سـبيل المثـال، تبلـغ قيمـة الأس الهيـدروجيني لـدم الإنـسان 4،7، فـإذا مـا انخفـضت هـذه القيمـة، اختلـت وظـائف الجسم، وقد تحدث الوفاة، كذلك، قد تكون مياه الأمطار حَامْضية بعض الشيء (تقترب من 6)، نتيجة ذوبان ثاني أوكسيد الكربون في قطرات المطر، إلاّ أن ذوبان بعض أكاسيد الغازات الأخرى الملوثة للجو في مياه الأمطار، قد تسبب زيادة الحموضة في مياه الأمطار، كما هو حادث في الأمطار الحامضية، ويجب ملاحظة أن التغيير في قيمة الأس الهيدروجيني درجة واحدة، يعني تغيير درجة الحموضة بمقدار 10 أضعاف، فالمحلول الذي له قِيمة أس هيدروجيني = 3، هو حَامْضي 10 أضعاف المحلول الذي له قيمة أس هيدروجيني = 4 لان درجة الحموضة او القلوية ترتبط بعلاقة لوغاريتمية (لوغاريتم عشري) مع تركيز ايونات الهديروجين في المحلول: PH = - log [H].

7. خصائص اخرى:

من الخصائص الأخرى للماء هو أن درجة تجمده تقل عن الصفر المئوي في حالة وجود مواد ذائبة فيه، وهذه خاصية بالغة الأهمية لحياة الكائنات الحية، حيث أنها تتعرض في المناطق الباردة إلى درجات حرارة تقل عن الصفر في كثير من الأحيان، ولكن الماء في أجسام هذه الكائنات لا يتجمد بسبب المواد الذائبة فيه ولو كان الحال غير ذلك لماتت الكائنات الحية بمجرد تعرضها لدرجات حرارة تقل عن

الصفر لفترة قصيرة من الزمن، فضلا عن ذلك فأن الماء لا طعم له ولا رائحة ولو كان الحال غير هذا لطغى طعمه ورائحته على طعم ورائحة جميع المواد التي يدخل في تركيبها، وخاصة تلك الموجودة في أجسام الكائنات الحية كثمار وأزهار النباتات ولحوم وألبان الحيوانات.

الفصل الثاني

المياه في دورة مستمرة

- **الدورة المائية (أو الهيدرولوجية) Hydrologic Cycle:**

ان الماء فوق الأرض في حركة دائمة منذ بلايين السنين مابين سائل أو بخار أو ثلوج، وعليه تعيد الطبيعة تدوير إمدادات المياه الموجودة على الارض من خلال عملية تسمى "الدورة المائية"، أو الدورة الهيدرولوجية Hydrologic Cycle.

تتكون الدورة المائية،والتي هي دورة مغلقة ومستمرة من ثلاث عمليات ترتبط ببعضها البعض هي التدفق الداخل والتدفق الخارج والتخزين، ويضيف التدفق الداخل المياه إلى مختلف أجزاء النظام المائي، بينما التدفق الخارج يأخذ المياه من هذه الأجزاء.

أما التخزين فهو احتفاظ أحد أجزاء النظام بالمياه، ولأن حركة المياه دائرية، فإن التدفق الخارج من أحد الأجزاء هو تدفق داخل في جزء آخر، ولنأخذ خزان المياه الجوفية على سبيل المثال، حيث يعد نفاذ المياه إلى باطن الأرض تدفقا داخلا إلى الخزان، بينما خروج المياه من الخزان الجوفي إلى تيار مائي يعتبر تدفقا خارجا (وهو في الوقت نفسه تدفقا داخلا بالنسبة للتيار المائي)، ومع مرور الزمن، إذا كان التدفق الداخل إلى الخزان الجوفي أكبر من التدفق الخارج، فإن ذلك يعني أن حجم المياه المختزنة في الخزان الجوفي سيزداد، والعكس صحيح، ويمكن للتدفق الخارج أن يحدث لأسباب طبيعية، أو من خلال الإنسان.

إن دورة الماء تصف وجود وحركة المياه على الأرض وداخلها وفوقها، وتتحرك مياه الأرض دائما، وتتغير أشكالها بإستمرار، من سائل إلى بخار، ثم إلى جليد، ومرة أخرى إلى سائل، ودورة المياه ليس لها نقطة إنطلاق، ولكن البعض يعتبر المحيطات بانها أفضل مكان لها لتنطلق منها.

إن الشمس تعتبر المحرك الأساسي لدورة الماء، اذ تتكفل الشمس بتوفير الطاقة اللازمة لعملية تبخير الماء من خلال الإشعاع الذي يصل إلى الأرض على شكل أمواج ضوئية وحرارية، تقوم هذه الطاقة بتسخين المياه في المحيطات التي

تتبخر (تتحول) إلى بخار ماء داخل الجو، وتوفر المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار حوالي 90٪ من الرطوبة الموجودة في الغلاف الجوي عن طريق التبخر، في حين أن نسبة الـ 10٪ المتبقية تأتي من ارتشاح النباتات. ويقدّر العلماء كمية الماء المتبخر من المحيطات في السنة الواحدة بأربعمائة ألف كيلومتر مكعب، ومن اليابسة بستين ألف كيلومتر مكعب، وتحتاج هذه الكمية الهائلة من الماء المتبخر من المحيطات إلى كمية هائلة من الطاقة تقدّر بمائتين وخمسين مليون بليون كيلواط ساعة في السنة الواحدة.

تعتبر الحرارة (الطاقة) التي توفرها الشمس ضرورية لحدوث التبخر، إن رفع هذا الكمية الهائلة من الماء إلى ارتفاع عدة كيلومترات فوق سطح البحر يحتاج إلى كمية هائلة من الطاقة لا تقل عن كمية الطاقة التي لزمت لتبخيرها.

وتقوم الشمس أيضا بتوفير هذه الطاقة من خلال تسخين الهواء الملامس لسطح الأرض والذي يرتفع إلى الأعلى حاملاً معه بخار الماء، وذلك بسبب أن كثافة الهواء الساخن أقل من كثافة الهواء البارد، وتستخدم هذه الطاقة في كسر جزيئات الماء المتماسكة، لذا يتبخر الماء عند درجة الغليان (100 درجة مئوية) بسهوله، ولكن ذلك يحدث ببطء شديد للغاية عند درجة التجمد، ويتعذر حدوث التبخر عندما تصل الرطوبة النسبية في الجو إلى معدل 100٪ (درجة التشبع).

وتعتبر كمية الماء المتبخر هي، تقريباً، نفس كمية الماء التي تعود إلى الأرض كأمطار، حسب القياس العالمي، برغم أن هذه الكميات تختلف من الناحية الجغرافية، اذ تستلم البحار كمية اقل من الامطار(حوالي370 ألف كيلومتر مكعب) مقارنة بكميات المياه المتبخرة، والعكس تماما يحصل في اليابسة التي تستلم كميات اكبر من الامطار مقارنة بالمتبخر منها، ولكن مع ذلك فأن حوالي 10٪ فقط من الماء المتبخر من المحيطات تنتقل إلى الأرض والتي تقدر بحوالي 90 ألف كيلومتر مكعب، وبمجرد تبخرها فإن جزئية الماء الواحدة تمضي حوالي 10 أيام في الجو اذ تقوم التيارات الهوائية المتصاعدة بأخذ بخار الماء إلى أعلى داخل الغلاف

الجوي، حيث درجات الحرارة الباردة التي تتسبب في تكثيف بخار الماء، وتحويله إلى سحاب، تقوم التيارات الهوائية بتحريك السحب حول الكرة الأرضية، وتصطدم ذرات السحاب وتسقط من السماء كأمطار، ويسقط بعض من هذه الأمطار كجليد، ويمكن أن يتراكم كأنهار جليدية، وعادة ما توجد هنالك مياه بصفة دائمة داخل الغلاف الجوي، وتعتبر السحب شكلاً من أشكال الرطوبة الجوية التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة، ومع ذلك فإن الهواء النقي يحتوي على مياهٍ على هيئة ذرات صغيرة يتعذر رؤيتها، ويصل حجم الماء الموجود في الغلاف الجوي في أي وقت إلى حوالي 12900 كيلومتر مكعب (3100 ميل مكعب)، وإذا سقطت كل المياه الموجودة في الغلاف الجوي مرة واحدة كأمطار فإنها ستغطي الأرض بعمق يصل إلى 2.5 سم.

وعلى اية حال فانه حتى لو كانت السماء زرقاء صافية فلا يزال الماء موجوداً على هيئة بخار ورذاذ متناهي الصغر وفي هذه الحالة يتعذر رؤيته بالعين المجردة، وتتوحد ذرات الماء مع ذرات صغيرة من الغبار والدخان في الجو لتشكل رذاذ السحب الذي يتوحد مع بعضه ليكون السحب، وعندما يتوحد رذاذ الماء مع بعضه وينمو في الحجم، يمكن أن يحصل التساقط.

إن كمية الماء التي تسقط على اليابسة والتي تقدّر بتسعين ألف كيلومتر مكعب تعود في النهاية إلى المحيطات والبحار حيث يعود ثلاثون ألف كيلومتر مكعب منها بشكل مباشر بواسطة الأنهار، بينما تعود الستين ألف المتبقية بطريقة غير مباشرة من خلال عملية التبخر وذلك بعد أن يتم الاستفادة منها من قبل الكائنات الحية المختلفة وخصوصا النباتات التي تستهلك الجزء الأكبر من هذه الكمية بامتصاصها من التربة، ومن الجدير بالذكر أن مجموع ما يستهلكه البشر سنوياً من الماء للأغراض الزراعية والمنزلية والصناعية يقدّر بثلاثة آلاف كيلومتر مكعب أي ما يساوي ثلاثة آلاف بليون متر مكعب فقط.

ان عملية توزيع مياه الأمطار على جميع مناطق اليابسة لا تتم بشكل متساوي بسبب التفاوت الكبير لتضاريس اليابسة ومقدار بعدها عن المحيطات حيث تسقط الأمطار بكميات كبيرة على المناطق الساحلية، وتقل تدريجياً كلما ابتعدنا عن شواطئ المحيطات والبحار، يدخل جزء من مياه الأمطار الجارية إلى مجاري الأنهار ويتحرك نحو المحيطات، وتسيل مياه الأمطار السطحية والمياه الجوفية لتشكل مياهاً عذبة في البحيرات والأنهار، ومع أن مياه الأمطار لا تذهب كلها إلى الأنهار إلا أن الكثير منها يتسرب إلى داخل الأرض كارتشاح.

يعتبر الماء المخزن منذ فترات طويلة في الكتل والأنهار الجليدية والثلجية جزءاً لا يتجزأ من دورة الماء. وتستحوذ أنتاركتيكا (القاة القطبية الجنوبية) على حوالي 90٪ من الكتلة الجليدية الموجودة في العالم، بينما تحتوي الغطاءات الجليدية في كرين لاند على 10٪ من إجمالي الكتلة الجليدية العالمية، ويصل سمك الغطاء الجليدي في كرين لاند إلى حوالي 1500 متر (5000 قدم)، وفي بعض الاوقات يمكن أن يصل سمكه إلى 4300 متر (14000 قدم).

يبقى جزء من المياه قريباً من سطح الأرض لتشكل مياهاً جوفية. وبمجرد وجودها في جوف الأرض ينتقل بعضها إلى المناطق القريبة من سطح الأرض، ويخرج بسرعة كتصريف إلى أحواض المجاري المائية، إلا أنه نظراً للجاذبية الأرضية فإن غالبيتها يستمر في التسرب إلى مسافات أعمق داخل جوف الأرض.

وعلى اية حال فأن بعض المياه التي تتسرب تبقى داخل طبقة التربة الضحلة، حيث يمكن أن تصبح مجرى مائياً من خلال التسرب إلى داخل حوض المجرى، ويمكن أن يتسرب بعض من هذه المياه إلى مسافات أعمق لتغذية مستودعات المياه الجوفية، وإذا كانت هذه المستودعات المائية ضحلة أو مسامية بما فيه الكفاية فانها تسمح للماء بالتحرك بسهولة من خلالها.

ان اتجاه وحركة المياه الجوفية وسرعتها تحددهما الخصائص المختلفة للمستودعات المائية الأرضية والطبقات الصخرية الحاجزة في الأرض، وتعتمد المياه التي تتحرك تحت الأرض على قابلية نفاذ ومسامية الصخور تحت السطحية، وإذا سمحت الصخور للمياه بالتحرك بحرية نسبياً، فانها يمكن أن تنتقل إلى مسافات طويلة خلال أيام معدودة، ومع ذلك، فإن المياه الجوفية يمكن أيضاً أن تتسرب إلى مسافات أكثرعمقاً داخل المستودعات المائية الأرضية حيث تستغرق آلاف السنين لتعود مرة أخرى إلى البيئة.

يمكن أن تنتقل المياه إلى مسافات طويلة، أو البقاء في مستودع المياه الجوفية لفترات طويلة من الزمن قبل أن تعود إلى سطح الأرض، أو التسرب إلى داخل الأجسام المائية الأخرى، مثل المجاري المائية والمحيطات، وتجد بعض من المياه الجوفية فتحات على سطح الأرض حيث تخرج منها كينابيع من المياه العذبة، او قد تقوم الجذور النباتية بامتصاص المياه الضحلة، ثم ترتشح من خلال أسطح الأوراق النباتية، لتعود مرة أخرى إلى الغلاف الجوي.

- **توزيع الماء على سطح الارض:**

تغطي المياه حوالي 71٪ من سطح الأرض، ويقدّر علماء الجيولوجيا كمية الماء الموجودة على الأرض بستة عشر بليون كيلومتر مكعب أو ما يساوي ستة عشر بليون بليون طن، و بنسبة كتله إلى كتلة الأرض تبلغ خمسة وعشرون بالألف.

ويوجد القسم الأكبر من هذه الكمية (تقدر بثلاثة عشر بليون كيلو متر مكعب) في طبقات الأرض الواقعة تحت القشرة الأرضية، وهي موجودة على شكل بخار ماء مضغوط وذلك بسبب الحرارة العالية لباطن الأرض، أما الكمية المتبقية والتي تقدّر بثلاثة بلايين كيلومتر مكعب فإن نصفها يدخل في تركيب الصخور والمعادن الموجودة في القشرة الأرضية، بينما يوجد النصف الآخر في المحيطات والبحار والأنهار.

بصورة عامة يتجمع معظم الماء الموجود على سطح الأرض في المحيطات والبحار، إلا أن هناك ما يقرب من مائة مليون كيلومتر مكعب من الماء موجودة على اليابسة في تجاويف القشرة الأرضية وفي البحيرات والأنهار والتربة على شكل سائل، وفي المناطق الجبلية والجليدية على شكل جليد، ويعتقد العلماء أن الماء الموجود على سطح الأرض قد خرج من باطنها، فبعد أن تكونت القشرة الأرضية الصلبة بدأ الماء يخرج من باطن الأرض على شكل بخار مع الحمم التي تقذفها البراكين من باطن الأرض إلى سطحها، وذلك مصداقا لقوله تعالى "والأرض بعد ذلك دحاها أخرج منها مائها ومرعاها" (النازعات 30 – 31)، ويقدّر علماء الجيولوجيا ايضا كمية الماء الذي يخرج من باطن الأرض في السنة الواحدة بحوالي كيلومتر مكعب واحد.

عموما يقوم هذا المخزون الضخم من الماء المحبوس تحت القشرة الأرضية بتعويض كمية الماء الموجودة على السطح إذا ما نقص بسبب هروب بعضه إلى الفضاء الخارجي أو اتحاده بشكل دائم مع بعض العناصر والمركبات الأرضية. ويتفرد كوكب الأرض من بين جميع كواكب المجموعة الشمسية بوجود هذه الكمية الضخمة من الماء على سطحه وذلك بعد أن تأكد للعلماء من خلال إرسال مركبات فضائية إلى كواكب المجموعة الشمسية أن سطوحها تخلو تماماً من الماء.

- **البيئة البحرية:**

ان كمية المياه الموجودة في المحيطات ليست ثابتة فهي تختلف باختلاف المراحل المناخية التي مرت على الارض، اذ تتغير وتتشكل خلال الفترات المناخية الباردة مزيد من الأنهار والمجاري الجليدية، مما يؤدي إلى تدني مستوى الماء في المحيطات والعكس صحيح خلال الفترات المناخية الحارة، وكان مستوى الماء في المحيطات خلال العصر الجليدي الماضي أقل بحوالي 122 متراً (400 قدم) عن معدل اليوم، وقبل حوالي 3 مليون سنة، عندما ارتفعت درجة حرارة جوف الأرض، ارتفع مستوى الماء في المحيطات إلى أعلى بمعدل بلغ 50 متراً.

وكما ذكرنا سابقا تغطي المحيطات الآن ما يقرب من سبعين بالمائة من سطح الأرض، بينما تشكل اليابسة النسبة المتبقية، ويبلغ متوسط ارتفاع اليابسة عن سطح البحر ما يقرب من كيلومتر واحد، بينما يبلغ متوسط انخفاض المحيطات عن سطح البحر أربعة كيلومترات تقريباً، إن تحديد نسبة مساحة سطح اليابسة إلى مساحة سطح المحيطات لم يتم بطريقة عشوائية بل تم تقديره بشكل بالغ الدقة بقدرة الله تعالى حيث بينت دراسات العلماء أن أية زيادة أو نقصان فيها قد يحول دون ظهور الحياة على الأرض، فمتوسط درجة حرارة سطح الأرض سيختلف عن الرقم الحالي البالغ خمسة عشر درجة مئوية فوق الصفر، وذلك بسبب الاختلاف الكبير في الحرارة النوعية لكل من تراب اليابسة وماء المحيطات.

وستتغير كذلك كمية ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي بسبب تفاوت نسب امتصاص البر والبحر لهذا الغاز الذي يعتبر مصدر الغذاء الرئيسي لجميع الكائنات الحية، وكذلك فإن كمية الماء التي ستسقط على اليابسة ستزداد أو تنقص تبعاً لقيمة النسبة بين مساحة كل من البر والبحر.

يبلغ معدل عمق البحار حوالي 3700م، ولكن بمقارنة ذلك بقطر الكرة الارضية والذي يصل الى 13250 كم، فهذا يعني بأن البحار ماهي الا طبقة مائيه رقيقية تغطي القشرة الارضية.

وعلى اية حال فبحار العالم مقسمة الى أربعة أقسام رئيسية وهي المحيطات (الأطلنطي، الباسيفيكي، الهندي، القطبي)، والقارة القطبية محاطة بدائرة القطب الجنوبي والذي يتصل بثلاثة روافد مائية كبيرة تتصل شمالاً بالمحيطات الاطلنطي والهندي والباسيفيكي،وهذه المحيطات لا تنفصل عن بعضها البعض الا بالقارات، البحار والمحيطات الاخرى الصغيرة مثل المحيط الآركتيكي Arctic Ocean والبحر الابيض المتوسط Mediterranean Sea يظهران من أطراف المحيطات الكبيرة.

ان الانحناء الخارجي في سطح الارض يجعل المناطق القريبة من خط الاستواء تستقبل طاقة ضوئية أكثر من مثيلاتها من أقطاب الارض وهذا يتسبب فيما يسمى بالتدرج الحراري. هذا التدرج الحراري الناتج من المناطق الاستوائية الى القطبية يتسبب في تكوين النظام الطقسي والتحرك المائي وكذلك يتسبب في تقسيم المناطق الى الى قطبية ومعتدلة وغيرها.

جدول 2 أحد التقديرات للتوزيع العالمي للماء

مصدر الماء	حجم الماء بالكيلومترات المكعبة	حجم الماء بالأميال المكعبة	نسبة المياه العذبة	نسبة الماء بأكملها
المحيطات والبحار والخلجان	1,338,000,000	321,000,000	- -	96.5
الكتل والأنهار الجليدية والثلوج الدائمة	24,064,000	5,773,000	68.7	1.74
المياه الجوفية	23,400,000	5,614,000	- -	1.7
عذب	10,530,000	2,526,000	30.1	0.76
مالح	12,870,000	3,088,000	- -	0.94
رطوبة التربة	16,500	3,959	0.05	0.001
أرض دائمة التجمد	300,000	71,970	0.86	0.022
البحيرات	176,400	42,320	- -	0.013
عذب	91,000	21,830	0.26	0.007

مالح	85,400	20,490	- -	0.006
الغلاف الجوي	12,900	3,095	0.04	0.001
مياه المستنقعات	11,470	2,752	0.03	0.0008
الأنهار	2,120	509	0.006	0.0002
المياه البيولوجية	1,120	269	0.003	0.0001
الإجمالي	1,386,000,000	332,500,000	-	100
المصدر: موارد المياه، موسوعة المناخ والطقس. أعده للنشر أس. أتش. شينيدر، مطبعة جامعة أكسفورد، نيويورك، المجلد 2 ص 817 – 828				

ان توزيع القارات والبحار على سطح الكرة الارضية لا يتبع لأي نظام متشابه فحوالي ثلثي اليابسة موجود في النصف الشمالي من الارض، بينما 80٪ من النصف الجنوبي مغطى بالماء، المحيط الباسيفيكي يكون حوالي نصف مساحة مجموع بحار العالم كما يتبين من الجدول(3) والذي يوضح بعض خصائص أكبر البحار والمحيطات في العالم.

جدول رقم (3) بعض المقارنات الوصفيه للمحيطات الكبيره

المحيط	المساحه	الحجم	متوسط العمق	أكبر عمق
	(×10 ^{6} كم^2)	(×10 ^{6} كم^3)	(متر)	(متر)
الباسيفيكى	165.2	707.6	4282	11.022
الأطلنطى	82.4	323.6	3926	9.200
الهندى	73.4	291.0	3963	7.460
القطبى	14.1	17.0	1026	4.300
الكاريبى	4.3	9.6	2216	7.200
الأبيض المتوسط	3.0	4.2	1429	4.600

- **المياه العذبة السطحية:**

وهي تلك المياه التي تتميز بضآلة كمية الأملاح بها أو حتى انعدامها في بعض الأحيان، وتعتبر الأنهار والجداول والجليد القطبي والأمطار المصدر الرئيسي للمياه العذبة، يعتبر الماء العذب الموجود على سطح الأرض من أجزاء دورة الماء، الذي يعد ضرورياً لكل مناحي الحياة، وتشمل المياه العذبة السطحية كلا من المجاري المائية، والمستنقعات، والبحيرات، والخزانات، والأراضي المنخفضة الرطبة المحتوية على ماء عذب.

ان كمية الماء العذب الصالحة للاستهلاك الآدمي لا تتجاوز 0.3٪ من الماء الموجود في الكرة الأرضية (جدول 4)، و يوجد أربعة أخماس هذه القيمة في القطبين المتجمدين الشمالي و الجنوبي، وتشير بعض التقديرات الى ان ما يزيد على 96٪ من المياه العذبة محجوز بالأنهار والكتل الجليدية ويتضمن هذا الماء، ماء البحيرات والأنهار والمياه الجوفية الموجودة في أقل من نصف ميل عمقاً، ويدخل في هذا، حساب كمية الماء العذب الموجود على هيئة بخار ماء في الغلاف الجوي، الذي سوف يتحول في النهاية إلى أمطار، والرطوبة الموجودة في تربة الأرض السطحية، أما مصادر الماء العذب المتمثلة في الأنهار والبحيرات فهي تشكل حوالي 93.100 كيلومتر مكعب (22.300ميل مكعب)، أي حوالي 1/700 من 1٪ من إجمالي الماء. ولكن هذه المياه في الواقع الطبيعي غير منتظمة التوزيع فعلى سبيل المثال تمثل الجبال القطبية غالبية الماء العذب الموجود على سطح الكرة الأرضية، حيث تصل نسبتها إلى حوالي 2,2٪ من إجمالي كمية المياه في الأرض، ممثلة ما يزيد عن ثلاثة أرباع مخزون الماء العذب في العالم.

ويحتوي نهر الامازون وحده على نحو 10٪ من اجمالي كمية المياه العذبة ، في حين يحتوي 15 نهراً أخرى في انحاء العالم على 33٪ من هذا الاجمالي فقط، فضلا عن ذلك يوجد حوالي 20٪ من المياه العذبة في بحيرة واحدة ألا وهي بحيرة بيكال في القارة الأسيوية، ونفس هذه النسبة نفسها نجدها مخزنة في البحيرات

الكبرى في الولايات المتحدة الأمريكية، وتحتفظ الأنهار بحوالي 0.006٪ فقط من المياه العذبة في العالم، ولا تزال الأنهار والبحيرات تشكل معظم مصادر المياه التي يستخدمها الناس يومياً.

جدول4 مصادر المياه الرئيسية			
	الحجم (1000) كم3	% من إجمالي المياه	% من إجمالي المياه العذبة
المياه المالحة			
المحيطات	1338.000	96.54	
المياه الجوفية المالحة/العسرة	870 12	0.93	
بحيرات المياه المالحة	85	0.006	
المياه الداخلية			
الطبقات الجليدية السطحية، الغطاء الجليدي الدائم	24064	1.74	68.7
المياه الجوفية العذبة	10530	0.76	30.06
الطبقات الجليدية القاعية، المناطق المتجمدة	300	0.022	0.86
بحيرات المياه العذبة	91	0.007	0.26
رطوبة التربة	16.5	0.001	0.05
الرطوبة في الغلاف الجوي	12.9	0.001	0.04
المستنقعات، الأراضي الرطبة*	11.5	0.0002	0.03
الأنهار	2.12	0.0001	0.006

المياه التي تحتويها النباتات*	1.12		0.003
إجمالي المياه	1386000	100	
إجمالي المياه العذبة	35029		100

*في العادة تكون مياه المستنقعات والأراضي الرطبة والمياه التي تحتويها النباتات مزيجاً من المياه العذبة والمالحة

تتعرض المياه الموجودة في الأنهار والبحيرات إلى تغييرات دائمة، نتيجة لكمية المياه الداخلة والخارجة إليها من خلال التساقط، والمياه الجارية على سطح الأرض، والمياه الجوفية، وتدفقات أفرع الأنهار. وتشمل المياه الخارجة عملية التبخر وتصريف المياه السطحية، كما يستخدم الناس الماء أيضاً للوفاء باحتياجاتهم. وتتغير كمية الماء وموقعه على مدى الزمن والمسافات، سواء من الناحية الطبيعية أو بمساعدة الإنسان.

يستغل 40٪ من المياه العذبة المتوافرة لأغراض الاستهلاك العام والمتزايد باستمرار والذي يفوق معدل النمو السكاني في كثير من الأحيان، اذ تشير الاحصاءات الحديثة الى ان الاستهلاك العالمي من المياه العذبة سجل ارتفاعا سداسيا بين عامي 1900 و 1995 ،وهو أكثر من ضعف معدل نمو السكان.

ومن الجدير بالذكر ان ثلث سكان العالم تقريباً يعيشون في دول تعاني من ندرة مياه تتراوح ما بين المتوسطة إلى الحادة،ويصل استهلاك المياه فيها إلى أكثر من 10٪ من موارد المياه العذبة المتجددة، وقد عانت في أواسط التسعينات حوالي 80 دولة يقطنها 40٪ من سكان العالم من ندرة مياه، وتشير التقديرات إلى أن ثلثي سكان العالم سوف يعيشون في دول تعاني من ندرة مياه خلال أقل من 25 سنة.

تسببت ثلاث عوامل رئيسية في زيادة الطلب على المياه خلال القرن الماضي هي: النمو السكاني، والتنمية الصناعية، توسع الزراعة المروية، واستحوذت الزراعة

على أكبر حصة من المياه العذبة في الدول ذات الاقتصاديات النامية خلال العقدين الماضيين.

أدى التركيز على توفير إمدادات المياه، بجانب ضعف تطبيق القوانين إلى الحد من فعالية إدارة موارد المياه خاصة في الأقاليم النامية.

ان محدودية المصادر المائية والتزايد المستمر في استهلاك المياه منذ عام 1950، جعل الكثير من دول العالم يواجه ضغطا متسارعا على مصادره المائية، ففي أوروبا مثلا ارتفع حجم استهلاك المياه من 100 كيلومترمكعب في العام 1950 إلى 550 كيلومترمكعب في العام 1990، يمكن تجاوز هذا الارتفاع عن طريق رفع كمية الاستهلاك من المياه وهو ما يمثل حلا على المدى القريب لكنها غير مجدية على المدى البعيد، وهنا يأتي دور علم الهيدرولوجي الذي يهتم بدراسة دورة المياه في الطبيعة، وتقدير كمية مصادر المياه والسبل السليمة لإدارتها لتحقيق التنمية المستدامة، ولا بد من التنويه إلى أن أي خطة لإدارة مصادر المياه، يجب أن تقوم على أساس تخمين وتقييم كل من كمية ونوعية المصادر المائية المتوفرة،إذا ما تم توزيع هذه النسبة الضئيلة من المياه العذبة الصالحة للشرب حسب توزيع الكثافة السكانية على الأرض، فإنها ستغطي احتياجات البشر، ولكن في الواقع لا يوجد هناك عدالة في توزيع الموارد في الطبيعة بشكل عام، مثلا نجد أن كمية الأمطار في مناطق مثل المناطق الاستوائية تصل إلى نحو عدة أمتار في حين أنها شبه معدومة في بعض المناطق الصحراوية، ويظهر عدم التوازن هذا بصورة واضحة في حوض الأمازون الذي يستأثر على نسبة 20 بالمائة من المياه العذبة في الأرض في حين أن يحوي نسبة ضئيلة جدا من سكان العالم، وحتى داخل القارات نفسها هناك تباين كبير بين كمية الأمطار والكثافة السكانية، وبشكل عام فإن كثافة الأمطار تتركز على المناطق الجبلية والتي عادة ما تكون ذات كثافة سكانية منخفضة، في حين أن المناطق المنبسطة والتي هي عادة تكون ملائمة للسكن والزراعة تحصل على نسبة قليلة من الأمطار، وأفضل مثال على هذا هو بريطانيا حيث أن المرتفعات الاسكتلندية ذات الكثافة السكانية المتدنية، تصل نسبة تساقط الأمطار فيها إلى ما

يقارب ثلاثة أمتار في السنة، وكثافتها السكانية تبلغ فقط شخصين لكل كيلومتر مربع، في حين أنه في مناطق جنوب شرق بريطانيا ذات الكثافة السكانية البالغة 500 شخص لكل كيلومتر مربع تتدنى نسبة تساقط الأمطار إلى0.6 متر في السنة، هناك بعض الإحصائيات تشير إلى أن الزراعة تستهلك 65 بالمائة من المياه المتجددة، وللأسف فإن نحو 75٪ من مياه الري تضيع هباء بسبب استخدام اساليب عقيمة في الري.

بينما تستهلك الصناعة ما يقارب الـ20 بالمائة، في حين يبلغ الاستهلاك العام 7 بالمائة فقط، يظهر الجدول5 بعض الأمثلة على توفر المياه في عدد من الدول التي تعتبر غنية أو فقيرة في المياه.

ومن هنا نلاحظ أنه حتى على المستوى المحلي أو الإقليمي يمكن أن يكون هناك فرق كبير في توزيع المياه وتوفرها للسكان.

جدول 5 يظهر توزيع المياه العذبة في بعض بلدان العالم

الدولة	مصادرالمياه العذبة (10^3m^3) شخص/عام	الدولة	مصادر المياه العذبة (10^3m^3) شخص/عام
الدول الغنية بالمياه		جنوب أفريقيا	1.4
جوانا	230	السودان	1.2
ليبريا	90	ألمانيا	1.1
فنزويلا	44	الدول الفقيرة بالمياه	
البرازيل	35	بلجيكيا	0.8
الإكوادور	29	اليمن	0.7

بورما	27	الجزائر	0.7
الكاميرون	18	هولندا	0.6
جواتيمالا	13	كينيا	0.5
نيبال	10	فلسطين	0.4
الدول التي تعاني من نقص بالمياه		سنغافورة	0.2
البرتغال	3.6	الأردن	0.2
غانا	3.4	السعودية	0.1
أسبانيا	2.8	مالطا	0.08
الباكستان	2.7	مصر	0.03
الهند	2.3	البحرين	0.0
بريطانيا	2		

After Newson (1992), Overseas Development Administration (1993) and Postel (1993)

- **المياه الجوفية والينابيع:**

يعتمد حوالي 2 مليار شخص،يمثلون ثلث سكان العالم تقريباً على إمدادات المياه الجوفية، ويستهلكون حوالي 20٪ من المياه العالمية (700600 كم3) سنوياً يأتي معظمها من أحواض المياه الجوفية الضحلة، ويعتمد الكثير من سكان الريف اعتمادا كاملاً على المياه الجوفية، فضلا عن ذلك قد تكون المياه الجوفية هي المصدر الرئيسي للمياه كما هو حاصل في شبه الجزيرة العربية، والتي تعتبر من المناطق المجدبة بمعدل أمطار أقل من 100 ملم في العام، ولا توجد بها موارد مياه سطحية تذكر، وبذلك تعتمد هذه المنطقة اعتماداً كلياً على المياه الجوفية،

ومحطات التحلية لتلبية احتياجاتها من الماء، وقد أدت الزيادة الكبيرة في الطلب على المياه إلى ضغوط متزايدة على الموارد القليلة المتاحة.

اما الينابيع فانها تنتج من عملية تدفق المياه بفعل امتلاء أحد المستودعات المائية الأرضية إلى النقطة التي تتدفق فيها المياه إلى سطح الأرض. وتتراوح الينابيع من ينابيع صغيرة الحجم، وهي التي تتدفق مباشرة بعد هطول أمطار غزيرة، إلى ينابيع كبيرة، تتدفق منها مئات الملايين من اللترات يومياً، يمكن أن تتكون الينابيع داخل أي نوع من أنواع الصخور، غير أنها غالباً ما توجد في الحجر الجيري، وصخور الدولوميت، التي يمكن أن تتصدع بسهولة وتتحلل بمياه الأمطار لتصبح حامضية، وعندما تتحلل وتتصدع هذه الصخور يمكن أن تتشكل الفراغات التي تسمح بتدفق الماء.

الفصل الثالث

مصادر تلوث المياه

تلوث الماء Water Pollution

كان هناك نوع من الاعتقاد السائد لدى الجميع، وهو اعتقاد خطير، بأن الأنهار والبحيرات والمحيطات هي أنسب مكان لإلقاء مخلفات المدن والمخلفات الصناعية وأي فضلات أخرى يراد التخلص منها، وان البيئات المائية لها القدرة الكافية للتخفيف من هذا التلوث ومن ثم تستعيد توازنها المعهود، وقد يكون هذا الاعتقاد صحيحا بعض الشيئ في حالة كون الملوثات قليلة، ولكن تزايد فعاليات الإنسان والنمو الصناعي والزراعي والتجمعات البشرية ادخل العديد من التأثيرات السلبية التي تنعكس بصورة واضحة على دورة المياه في الطبيعة ابتداء من مرحلة تبخر المياه من الأرض انتهاءا بعودتها ثانية إليها محملة بالملوثات المختلفة، وقد يكون للطبيعة دور إيجابي في تحسين كثير من حالات تلوث المياه حيث تسهم في إزالة أو تقليل عدد من الملوثات المضافة من قبل الإنسان إلا أن هذا السلاح الطبيعي ضعيف ويزداد ضعفاً مع زيادة النمو الصناعي وزيادة الملوثات التي تقذف بتراكيز عالية، مما سبب خللا جسيما في التوازن البيئي لهذه المسطحات المائية.

يعرف تلوث الماء بأنه: إحداث تلف او افساد لنوعية المياه مما يؤدي الى حدوث خلل في نظامها البيئي بصورة او بأخرى بما يقلل من قدرتها على اداء دورها الطبيعي بل تصبح مؤذية عند استعمالها او تفقد الكثير من قيمتها الاقتصادية، وبصفة خاصة مواردها من الاسماك والاحياء المائية، كما عرفت منظمة الصحة العالمية WHO تلوث المياه:"بأنه أي تغير يطرأ على العناصر الداخلة في تركيبه بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بسبب نشاط الإنسان، الأمر الذي يجعل هذه المياه أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة لها أو بعضها، أو بعبارة أخرى عبارة عن التغيرات التي تحدث في خصائص الماء الطبيعية والبيولوجية والكيميائية للماء مما يجعله غير صالح للشرب أو للاستعمالات المنزلية والصناعية والزراعية".

وفي جانب اخر فالمقصود بتلوث الماء هو إفساد نوعية مياه الأنهار والبحار والمحيطات بالإضافة إلى مياه الأمطار والآبار الجوفية مما يجعل هذه المياه غير صالحه للاستعمال، ويعد تلوث المياه احدى صور الفساد الذي يتسبب فيه الانسان بطرق مباشرة او غير مباشرة لانه على الرغم من معرفة الإنسان لأهمية المياه الا انه اختارها لطرح فضلاته عن طريق المجاري الملوثة بالمواد العضوية والمواد الكيميائية والبكتيريا الضارة التي تنتقل إلى الانسان عن طريق الجلد والجروح والفم عند الشرب، او الاستخدام او السباحة في هذه المياه الملوثة، وكذلك عند تناول الانسان الاسماك والكائنات البحرية او النهرية المصابة بالاحياء الدقيقة المنتشرة في مثل هذه المياه الملوثة، ولا ننسى ان امراض التيفوئيد والنزلات المعوية والاسهال والقيء والكوليرا والتهابات الكبد والجهاز العصبي وغيرها من اجهزة الجسم اسبابها تلوث المياه الناتجة عن مخلفات الانسان، وتمثل المياه بالرغم من أساسياتها للحياة وسيطاً أولياً للأمراض المائية كالكوليرا والبلهارزيا...الخ .وهناك قلق متزايد في الوقت الحاضر بشأن زيادة نسبة العناصر الكيميائية في مياه الشرب والتي من شأنها التسبب بأمراض سرطانية أو تأثيرها المحتمل في تغيير الصفات الوراثية للأبناء نتيجة حدوث تحولات طارئة في الكروموسومات أو المورثات، كما يمكن أن يؤدي وجود معادن ثقيلة في مياه البحر إلى تلوث الثروة السمكية وهو ما يمكن أن يؤثر فيما بعد على الإنسان.

بصورة عامة يمكن تقسيم تلوث الماء الى ثلاث أنواع رئيسية:

1. التلوث الطبيعي:

وهو التلوث الذي يغير خصائص الماء الطبيعية ويجعله غير مستساغ للاستعمال الانساني لتغير لونه ومذاقه واكتسابه الرائحة الكريهة.

2. التلوث الكيميائي:

وهو التلوث الذي يصبح فيه الماء ساماً نتيجة وجود مواد كيميائية خطرة فيه مثل: مركبات الرصاص والزئبق والزرنيخ والمبيدات الحشرية الخ، ويعد التلوث الكيميائي للمياه واحداً من اهم واخطر المشاكل التي تواجه الانسان المعاصر.

3. التلوث البيولوجي:

ونقصد بهذا التلوث وجود مايكرويات او طفيليات في الماء، او وجود احياء نباتية كالطحالب بكميات كبيرة تسبب في تغير طبيعة المياه ونوعيتها وتؤثر في سلامة استخدامها، وستناول هذا النوع من التلوث بالتفصيل في الفصول القادمة.

- **مصادر تلوث الماء:**

إن العديد من أنشطة الإنسان في البيئة تتسبب في تلوث الماء منها:

1. مصادر التلوث المنزلية:

تعتبر مياه الصرف الصحي المتدفقة من المنازل مصدرا رئيسيا لتلوث المياه بكافة انواعها، حيث تقف وراء طائفة واسعة من الملوثات، بما في ذلك البكتيريا، والفيروسات، والنترات من المخلفات المنزلية، والمركبات العضوية.

فالمواد الكيميائية المخزونة في المنازل بطريقة غير سليمة أو التي يتم التخلص منها مع مياه الصرف الصحي يمكن أن تكون مصدرا خطيرا لتلويث المياه. ومن بين هذه المواد الأصباغ، سوائل التنظيف، والزيوت، والأدوية ، والمطهرات ... الخ.

وتصبح المشكلة أخطر بكثير في حالة حدوث تسرب في شبكات الصرف، أو في حالة الصرف المباشر في باطن الأرض.

ان التخلص من مياه المجاري في الكثير من الدول يتم عن طريق تصريفها الى المسطحات المائية كالأنهار والبحار والبحيرات،على الرغم من خطورة ذلك،حيث تكون هذه المياه ملوثه بالمواد العضوية و المواد الكيميائية (كالصابون والمنظفات الصناعية) وبعض أنواع البكتيريا والميكروبات الضارة، بالأضافة الى المعادن الثقيلة السامة والمركبات الهيدروكاربونية، ويؤدي ذلك الى حدوث أضرار جسيمه مثل تقليل نسبة الأوكسجين في الماء و الموت الجماعي للأسماك والأحياء المائية وتعفن المياه، كذلك انتقال الكثير من مسببات الأمراض الخطيرة التي يمكن أن تصيب الأنسان من جراء تلوث المسطحات المائية بمياه الصرف الصحي(الغير معالجه) مثل بكتيريا السالمونيلا salmonella التي تسبب أمراض حمى التيفوئيد و النزلات المعوية، وبكتيريا الشيكلاshigella التي تسبب امراض الأسهال، وتتسبب المياه غير المأمونة وسوء الصرف الصحي في الإصابة بما يقدر بـ 80 في المائة من مجموع الأمراض في العالم النامي، ويتجاوز المعدل السنوي للوفيات 5 ملايين، وهو عشرة أمثال عدد القتلى في الحروب، في المتوسط، سنويا، علما ان أكثر من نصف الضحايا هم من الأطفال، وليس هناك تدبير وحيد أقدر على خفض الإصابة بالأمراض وإنقاذ حياة السكان في العالم النامي من توفير المياه المأمونة والصرف الصحي الملائم للجميع.

وعلى اية عام تعتبر مياه المجاري واحدة من أخطر المشاكل على الصحة العامة في معظم دول العالم الثالث، لأن أغلب هذه الدول ليس لديها شبكة صرف صحي متكاملة، بل في بعض المدن الكبيرة لا توجد شبكة صرف اصلا، والمشكلة الكبرى عندما تلقي المدن الساحلية مياه الصرف الصحي في البحار دون معالجة مسببة بذلك مشكلة صحية خطيرة، كما أن استخدام الحفر الامتصاصية في الأماكن التي لا يتوفر فيها شبكة صرف صحي له أضراره على الصحة العامة خاصة إذا تركت مكشوفة أو ألقيت مخلفاتها في الأماكن القريبة من المساكن حيث يتوالد البعوض والذباب مما يسبب الكثير من الأمراض، فضلا عن ما تقدم تحتوي مياه المجاري علي كمية كبيرة من المواد العضوية وأعداد هائلة من

الكائنات الحية الدقيقة الهوائية واللاهوائية. وعند وصولها إلى المياه السطحية، تعمل الكائنات الدقيقة الهوائية على استهلاك الأوكسجين لتحليل المواد العضوية مسببة نقصا في الأوكسجين مما يؤدي إلى اختناق الكائنات الحية التي تعيش في المياه وموتها، وعند موت هذه الكائنات تبدأ البكتريا أو الكائنات الدقيقة اللاهوائية بتحليلها محدثة تعفن ورائحة كريهة في هذه المياه، وعلى اية حال يظل الصرف الصحي المصدر الأكبر حجماً لتلوث البيئات المائية العذبة والبحرية والساحلية على نطاق العالم، وقد زاد تصريف مياه المجاري والصرف الصحي على السواحل زيادة كبيرة خلال العقود الثلاث الماضية، إضافة لذلك وبسبب ارتفاع استهلاك المياه في المناطق الحضرية الساحلية، أصبحت إمدادات المياه تفوق طاقة شبكات المجاري المتاحة مما يزيد من حجم المخلفات السائلة وتفشي المشاكل الصحية، ولم يقتصر الامر على المياه السطحية بل امتد الى المياه الجوفية، وعلى سبيل المثال وفي أكثر دول العالم تقدما، أي في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث المياه الجوفية توفر أكثر من نصف مياه الشرب لمجمل سكانها، لم تنقطع حالات تلوث المياه الجوفية في كل الولايات منذ عقد السبعينيات، وفي الفترة من 1971 وحتى 1985، سجل تفشي أكثر 245 مرضا مرتبطا بالمياه الجوفية في الولايات المتحدة، وتشير بيانات وكالة حماية البيئة الأمريكية US Environmental Protection Agency، المعروفة اختصارا باسم EPA، إلى أن 10 في المائة من كل شبكات إمدادات مياه الشرب من المياه الجوفية تنتهك معايير مياه الشرب النظيفة نتيجة للتلوث البايولوجي الناتج بصورة اساسية من شبكات المجاري، والذي يشمل البكتيريا والفيروسيات والطفيليات.

2. المصادر الصناعية:

تعتبر مخلفات المصانع من اكبر مصادر تلويث مياه الأنهار والبحار والمحيطات، فالماء يدخل في الصناعة كمادة خام وكوسط ناقل وكمادة منظفة وكمبرد وكمصدر بخار في التدفئة وانتاج الطاقة؛ وفي الصناعة الكيميائية يكون الماء المادة الاكثر استعمالا، وبذلك تحتوي مخلفات الصناعة على الكثير من المواد

الكيميائية، والتي يتم تصريفها إلى المسطحات المائية مثل الأنهار والبحار، وتعتمد أنواع المركبات الكيميائية المختلفة على نوع الصناعات القائمة، كما وتعتمد على نوع المعالجة التي تجري في كل مصنع، ولكن تشترك اغلب المصانع في إلقائها الكثير من المواد مثل: الأحماض والقواعد والمنظفات الصناعية والأصباغ، وبعض مركبات الفسفور والمعادن الثقيلة السامة مثل الرصاص والزئبق مما يتسبب عنها تلوثا شديدا للمياه التي تلقى بها هذه الملوثات.

تحتوي مياه المصانع وفضلاتها ما نسبته 60 بالمائة من مجموع المواد الملوثة للبحار والبحيرات والأنهار، ويصدرأغلب الملوثات من مصانع مثل مصانع الدباغة والرصاص والزئبق والنحاس والنيكل ومصانع الدهانات والإسمنت والزجاج والمنظفات ومصانع تعقيم الألبان والمسالخ ومصانع تكرير السكر.

ان المصانع في الدول النامية وحتى الدول المتقدمة لا تلتزم بضوابط الصرف الصناعي، بل تلقي بفضلاتها في المياه، ففي الولايات المتحدة وجدت مخلفات سامة في مياه الأنهار والبحار المحيطة بالمصانع، وفي القاهرة أجريت دراسة علي اثني عشر محطة لمعالجة مياه الشرب ووجدت جميعها تعاني من عدم انضباط في تصريف النفايات السائلة الصناعية، وتجدر الإشارة إلى أن الطرق التقليدية لتنقية المياه لا تقضي علي الملوثات الصناعية مثل الهيدروكربون والملوثات غير العضوية والمبيدات الحشرية وغيرها من المواد الكيميائية المختلفة، وقد يتفاعل الكلور المستخدم في تعقيم المياه مع الهيدروكربونات مكونا مواد كربوهيدراتية كلورينية متسرطنة.

بصورة عامة فان الفضلات الصناعية تعد مشكلة كبيرة في البلدان المتطورة، وفي بعض المناطق ذات النشاط الصناعي الكثيف كانت الفضلات الصناعية عدة اضعاف الفضلات المنزلية ومن اشهر الصناعات التي تكون مصحوبة بفضلات ملوثة كثيرة هي:

1. الصناعات الغذائية:

هذه الصناعات عادة تكون مصحوبة بفضلات هائلة وخاصة صناعة منتجات الالبان واللحوم وتكرير سكر البنجر، ويسبب محتواها العالي من المواد العضوية نضوب الاوكسجين عندما تصل الى المياه.

2. صناعات القطن والصوف:

تعد هذه الصناعات مصدرا لفضلات كثيرة ناتجة من طبخ الالياف وازالة النشا من الاقمشة، وتكون هذه الفضلات عالية القلوية، ان انتاج الف كيلو غرام من الصوف يؤدي عادة الى 1500 كيلو غرام من الشوائب و300 الى 600 كيلو غرام كيمياويات مختلفة مع ما مجموعه 200 ملغرام /لتر من المتطلب الحيوي للاوكسجين.

3. الورق والصناعات المرتبطة:

تنتج هذه الصناعات قدرا كبيرا من ملوثات الماء، وتكون الملوثات خليطا من مركبات كيميائية ورقاقات الخشب المتناثرة وقطع القلف والياف السليلوز،حيث يلفظ حوالي 50٪ من الخشب الداخل الى المصانع كمادة فضلة.

4. صناعة المطاط واللدائن:

هذه المصانع تطرح فضلات هائلة ذات متطلب حيوي للاوكسجين عالية جدا، كما تكون المياه المطروحة من هذه المصانع ذات طعم ورائحة كريهين جدا، وتنتج هذه الصناعات فضلات هيدروكاربونية ومركبات عضوية اخرى كثيرة.

1. صناعة الفلزات:

تنتج مصانع الفولاذ ماء فضلة من غسل غازات فرن الصهر ومن حمام الفولاذ الحامضي،وتميل هذه الفضلات لان تكون حامضية، وتحوي فينولات وحجر كلس وقلويات وزيوت وقشور الطحن ومواد صلبة عديدة عالقة في المياه.

2. الصناعات الكيميائية:

وتطرح هذه الصناعات فضلات عديدة ملوثة للبيئة المائية مثل هدروكاربونات وحوامض وقلويات وسيانيدات وعناصر ثقيلة واملاح ومركبات فينولية ومركبات كبريت وكاربونات مهلجنة وغيرها الكثير.

- **الملوثات الناتجة من العمليات الصناعية:**

بصورة عامة تلقي المصانع المختلفة بعدد هائل من المواد الكيميائية والتي يمكن ان تشكل خطرا على صحة الإنسان. ويمكن تلخيص أهم المواد الكيميائية التي تلوث المياه بالمواد التالية:

1. مركبات حامضية أو قلوية:

تعمل كل من المركبات الحامضية أو القلوية على تغيير درجة الحموضة للماء، إن ارتفاع درجة حموضة المياه له تأثير سلبي على صحة الإنسان كما يؤدي إلى تكون الصدأ في الأنابيب وتآكلها، أما التلوث بالقلويات فيؤدي إلى تكون الأملاح مثل كربونات وبيكربونات وهيدروكسيدات والكلوريدات، وتسبب كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم عسرة الماء، كما أن مركبات الكلوريدات والسلفات تسبب ملوحة الماء.

2. مركبات النترات والفوسفات:

ان كمية النترات في مياه الشرب طبقاً للمعايير القياسية الكيميائية لا يجب أن تزيد عن 45 ملغم في اللتر، واكدت البحوث إن زيادة محتوى الماء من النترات كان وراء شيوع حالات وبائية من تسمم الأطفال يتميز بأعراض الزرقة نتيجة نقص الأوكسجين في الدم، وكذلك قد وجد إن هناك ارتباط ذا دلالة بين ارتفاع نسبة الإصابة بسرطان المعدة في أجزاء من إنكلترا أو اليابان ومصادر المياه الغنية بالنترات.

تسبب املاح النترات والفوسفات ظاهرة اخضرار الماء(الاثراء الغذائي)، وتتكون الأعشاب الخضراء من الطحالب التي تعتمد في غذائها على عناصر الكربون والنتروجين والفسفور.

3. المعادن الثقيلة:

تعد الفعاليات الصناعية المصدر الرئيسي لهذه الملوثات الخطرة، ولكن قد تكون المصادر طبيعية اذ توجد العناصر في كل مكان من الارض في الصخور وفي التربة وتصل الى الماء من العمليات الطبيعية مثل التجوية والتعرية، وان عمليات الترسيب والتبادل الايوني واكسدة واختزال الكيميائيات تساهم في تحريك العناصر الثقيلة في البيئة المائية بشكل فعال.

ان أكثر المعادن الثقيلة انتشارا في المياه هي تلك الناتجة من المصانع وخاصة عنصري الرصاص والزئبق، اذ يدخل الزئبق الناتج عن المصانع الكيميائية الى المياه والجميع يعلم بأن الزئبق يهاجم خلايا المخ والجسم يقتلها، ولا يوجد علاج حقيقي لحالات التسمم الناتجة عن الزئبق، ويوجد الزئبق في الماء علي هيئة كبريتيد الزئبق وهو غير قابل للذوبان، ويتواجد ايضا على شكل عضوي مثل فينول ومثيل وأخطرها هو مثيل الزئبق الذي يسبب شلل الجهاز العصبي والعمى، أما في الأسماك فإن مثيل الزئبق يتراكم داخلها بتركيزات عالية نتيجة التلوث

وينتقل من الأسماك إلى الإنسان، اما الرصاص فانه ينتقل الى مياه البحار والانهار عندما تطرحه المصانع الكيميائية المختلفة، ومن ثم تنقله التيارات البحرية الى أماكن شاسعة في البحار حيث يتركز الرصاص في الأنسجة اللحمية للاسماك والاحياء المائية الموجودة في هذه البحار او الأنهار، ويتركز الرصاص حياتيا عندما يتناول الإنسان هذه الاسماك او الاحياء المائية الملوثة مما يؤدي الى حالات من التسمم وهلاك خلايا المخ والموت البطيء للانسان.

4. الحديد والمغنيسيوم والكلورين:

يسبب الحديد والمغنيسيوم تغير لون الماء إلى أشبه بالصدأ ولا يسبب ضررا إلا إذا كان بكمية كبيرة، وأكثر وجودهما في المياه الجوفية، بينما لا يزال تفريغ الكلورين والمياه عالية الملوحة يشكل باستمرار تهديدا خطير آخر على البيئة.

5. مركبات عضوية:

كثير من المركبات العضوية تسبب تلوث الماء وأشهرها التلوث بالبترول ومشتقاته والمبيدات الحشرية والمبيدات الفطرية وغيرها من الكيماويات الصناعية.

6. الهالوجينات:

يستخدم الكلور والفلور لتعقيم المياه من الميكروبات الضارة ولكن عند وجود مواد عضوية أو هيدروكربونات في المياه، فإنها تتفاعل مع الكلور مكونة مركبات هيدروكربونية كلورية مسرطنة.

7. المواد المشعة:

تسبب المفاعلات النووية التلوث الاشعاعي للمياه، وذلك حينما يتم طرح ماء الفضلة المستعمل في تبريد هذه المفاعلات الى الماء، ويؤدي ذلك الى اضرار كبيرة بالاحياء المائية الموجودة، وقد تصل هذه الملوثات في النهاية الى الانسان.

ان الملوثات الاشعاعية عندما تصل الى المياه يذوب بعضها ويتعلق في صوره معادن ثقيلة كالرصاص والنيكل والكادميوم والزرنيخ والزئبق والكوبالت والألمنيوم، وعندما تصل هذه المياه الملوثة الى جسم الأنسان تحدث أمراض خطيرة، مثل ذلك الراديوم المشع الذي يسبب السرطان وخاصة سرطان العظام.

8. الأمطار الحامضية:

ان الصناعة هي المصدر الرئيسي لما يعرف بظاهرة الامطار الحامضية (Acid rain) وهي تلك الأمطار، التي تكون قيمة الأس الهيدروجيني لها حامضية (غالباً يتراوح بين 4 و5)، وذلك لتكوّن حامضي الكبريتيك والنيتريك الناتجين من تفاعل أكاسيد الكبريت والنيتروجين، الموجودة في الجو، مع قطرات الماء، الموجودة في المطر، على الرغم من أن مياه الأمطار النقية، تكون حامضية بعض الشيء نتيجة ذوبان ثاني أوكسيد الكربون في قطراتها، ولكن تبقى درجة الحموضة مخففة (يصل رقمها الهيدروجيني إلى حوالي 6) في اغلب الاحيان، وقد يعزى هطول هذه الأمطار الحامضية، إلى بعض الظواهر الطبيعية في بعض الحالات، مثل الأنشطة البركانية. ولكن التلوث الصّناعي، وانطلاق كميات هائلة من أكاسيد الكبريت والكربون والنيتروجين، يظل هو السبب الأكبر في تَكَوّن الأمطار الحامضية، ويرجع التأثير الضار للأمطار الحامضية على البيئة بسبب تغييرها للبيئات المائية المعتدلة إلى بيئات حامضية، مع ما يترافق ذلك من نفوق الكائنات الحية، واختلال التوازن البيئي، في هذه المسطحات المائية، كما تؤدي الى زيادة نسبة ذوبان الفلزات الثقيلة، وتحررها من التربة أثناء جريان المياه (الحامضية) في البحيرات والأنهار، الأمر الذي يؤدي في النهاية، إلى زيادة تركيز الفلزات الثقيلة السّامة، مثل: الرصاص، والكادميوم،والنحاس في مياه الشرب، وبذلك تتأثر صحة الانسان من خلال شرب هذه المياه الملوثة، فضلا عن تأثر الأسماك والكائنات المائية الاخرى.

تزداد مشكلة الامطار الحامضية تعقيداً بسبب حركة الرياح، التي قد تحمل الأكاسيد المسببة لهذه الظاهرة من مكان إلى آخر، مثلما هو حادث في أمريكا الشمالية، حيث تشير أصابع الاتهام إلى أن ولاية أوهايوالصناعية الأمريكية، تُعدّ مسؤولة عن حوالي 50٪ من الأمطار الحامضية، التي تسقط على كندا، ومن الجدير بالذكر ان الأمطار الحامضية تؤدي الى حدوث أضرار بمياه البحيرات بصورة خاصة، حيث تأثرت مئات البحيرات في نصف الكرة الشمالية، خصوصاً في السويد، والنرويج، والمملكة المتحدة، وشمال أمريكا، حيث تبدو، لأول وهلة، أنها بحيرات تحتوي على مياه عذبة شفافة، إلاّ أنها في حقيقتها مياه ليس بها حياة، نتيجة تأثير الأمطار الحامضية عليها، وقد وصلت هذه البحيرات إلى درجة ملحوظة من الحموضة، بعدما استنفدت مقدرة التربة على معادلة التأثير الحامضي للأمطار (تحتوي التربة على عدد من الأملاح القلوية، مثل: كربونات الكالسيوم، والمغنيسيوم، التي لها القدرة على معادلة الأحماض)، ويحدث مثل ذلك في الأنهار أيضا مثل نهر "توفدال"tovdal"بالنرويج الشهير بوجود اسماك السلامون ولكن أصبح بفعل الأمطار الحامضية لايوجد به اسماك أو أي نوع من أنواع الكائنات الحية.

9. التلوث الحراري:

ومن أشكال التلوث الصناعي ايضا هو استعمال بعض المصانع ومحطات الطاقة لمياه الأنهر والبحيرات في التبريد، وهذه العملية ستؤدي الى ارتفاع في حرارة المياه مما يؤثر سلبا على التفاعلات البيوكيميائية في المياه، وكذلك على الأحياءالمائية.

ان محطات الطاقة تشع حوالي60 ٪ من الطاقة التي تنتجها على شكل حرارة، لذلك تحتاج إلى كميات هائلة من الماء للتبريد، لمنع ارتفاع درجة حرارة المحركات وشبكة الأنابيب، وهذه المياه تضخ من البحر، او الانهار او البحيرات، وترجع إليها ثانية بدرجات حرارة مرتفعة أكثر من 10- 12 مo.

ان درجة حرارة المياه تختلف باختلاف الفصول واختلاف الجو وهذه التغيرات تؤثر على فعالية الإحياء المائية لذلك فان الإحياء المائية قد كيفت نفسها مع هذه التغيرات.

وبما إن لدرجة الحرارة تأثير مهم في ضبط الدورات التكاثرية ومعدلات الهضم ومعدلات التنفس، وعدد من الفعاليات الكيميائية الأخرى التي تحصل في الجسم، فان ارتفاعها المفاجئ بلا شك سيؤدي الى عدد من التأثيرات السلبية في حياة هذه الكائنات،خاصة اذا ما عرفنا ان الحياة عادة تظهر في معدل حراري ضيق نسبيا، فالحيوانات ذات الحرارة الثابتة كالحيوانات اللبونة والطيور المختلفة التي تحتوي أجسامها على نظام سيطرة متطور يحافظ على درجة حرارة أجسامها ثابتة لا تتغير مع تغير درجات الحرارة المحيطة بها، لذا سميت بذوات الدم الثابت، لكنه ربما تموت هذه الحيوانات عند تعرضها للدرجات الحرارة العالية جدا أو الباردة جدا، ضمن هذه الظاهرة تكون فاعلية الايض الذي تمثله هذه الكائنات الحية على أبطأ مستوى له عند تعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة، وتأخذ بالازدياد عندما تبدأ الدرجات الحرارية بالارتفاع مرة أخرى إلى إن يصل إلى الحد الذي فوقه تعد درجات الحرارة غير ملائمة للايض، وبالتالي فارتفاعها المستمر يؤدي إلى موت الكائن الحي.

يؤدي ارتفاع درجة حرارة المياه ايضا الى تغيير في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه، ومنها اختزال كمية الأوكسجين الذائب في الماء، فلذلك نجد إن اللتر الواحد من الماء في درجة حرارة 5 م^o يمكنه استيعاب 9 سم^3 من الأوكسجين، ويتناقص هذا الحجم من الأوكسجين المذاب إلى 6 سم^3 للماء عند ارتفاع درجة الحرارة للمياه إلى 20 م^o، وبالنتيجة سوف يؤثر على كافة أشكال الحياة التي تعيش قي هذه المياه.

كما يؤدي ارتفاع درجة حرارة الماء الى زيادة نمو بعض الطحالب غير الصالحة كغذاء للأحياء المائية، وعندما تموت هذه الطحالب وتتحلل فإنها تستهلك كميات كبيرة من الاوكسجين الذائب في الماء، اضافة الى ما ينتج عنها

من غازات كريهة وسموم تتراكم سنة بعد أخرى لتقضي على الحياة في الوسط المائي الملوث بها .وفي بعض الاحيان يعمل التلوث الحراري للمياه على أكسدة بعض الملوثات المعدنية التي تلقيها المصانع في المياه مما يؤدي الى وجود بعض الاكاسيد السامة فيه.

إن وصول درجة حرارة المياه إلى 50 درجة مئوية أو أكثر قد وجد أنها تؤدي إلى موت الأسماك واللافقريات فقط، بينما تزدهر عندها بعض أنواع البكتريا المحبة للحرارة .

3. **المصادر الزراعية:**

للزراعة اهمية لا باس بها كمصدر لتلوث المياه رغم ان اهميتها لا تقارن بالتلوث الناتج عن الصرف الصحي، وماء الفضلة الصناعية.ومن انواع الملوثات الناتجة من الفعاليات الزراعية:

1. **فضلات حيوانات المزارع وبقايا النبات:**

ان الاستخدام الواسع لفضلات الحيوانات في عمليات التسميد والتي ما زالت طريقة متبعة في مناطق عديدة، وذلك من اجل رفع غلة المحاصيل الزراعية، قد ادى الى مشاكل بيئية عديدة خاصة اذا ما وصلت هذه الفضلات الى المياه المجاورة،ان سعة مشكلة فضلات الحيوان المحتملة تجعل مشكلة فضلات الانسان تبدو اقل،اذ تنتج الحيوانات الاليفة حوالي بليون طن متري من فضلات البراز في السنة الواحدة، وحوالي 400 مليون طن متري اخرى فضلات سائلة، فضلا عن ذلك يمكن ان تولد بقايا النبات من المحاصيل والبساتين تلوثا بيئيا عندما تحمل امراضا نباتية وعندما تصل الى مجاري المياه.

ان فضلات حيوانات المزرعة وبقايا النباتات هي مواد عضوية قابلة للتحلل بواسطة الكائنات الحية الدقيقة التي تحتاج إلى الأوكسجين، وبالتالي عند وجود المواد العضوية، يتم استهلاك الأوكسجين اللازم لبقاء الكائنات الحية في النظام البيئي، فضلا عن ما تقدم تعمل تعرية التربة الزراعية على زيادة الرواسب في الانهار والبحيرات، وتقلل الرواسب بما فيها من تربة درجة نفاذية ضوء الشمس في المياه، الذي يقلل بدوره من عملية التمثيل الضوئي في النباتات المائية، ويخفض من قدرة الكائنات التي تعتمد على النظر في انتقاء الغذاء على الإمساك بالفريسة، وتسد وتلف خياشيم الأسماك، وتقلل من فقس البيض، ومن قدرة الصغار على البقاء، كما تعمل هذه الرواسب كناقلة لبعض الملوثات الأخرى، وبعض الاحياء الصغيرة والبكتيريا.

2. التلوث بالمبيدات:

أدى التوسع في استخدام المبيدات بصورة مكثفة في الأغراض الزراعية والصحية إلى تلوث المسطحات المائية بالمبيدات العضوية أما مباشرة عن طريق إلقائها في المياه، أو بطريق غير مباشر مع مياه الصرف الزراعي والصحي والصناعي التي تصب بهذه المسطحات، كما ويتسرب جزء من هذه المبيدات إلى المياه الجوفية، إضافة الى ذلك تتسرب المبيدات الحشرية التي ترش بها المحاصيل الزراعية الى مياه الصرف والى مياه الترع والقنوات التي تغسل فيها معدات الرش مما يؤدي الى نقلها الى الاسماك والاحياء المائية والمواشي التي تشرب الماء الملوث، كما تتمركز هذه المبيدات في الارض الزراعية فتنتقل الى الخضروات والنباتات التي تؤكل نيئة او مطبوخة فتصل بدورها الى الانسان مسببة كثيراً من الامراض الخبيثة.

3. التلوث بالأسمدة الكيمياوية الزراعية:

لقد ساهم انتشار الدعم الزراعي دون شك في زيادة استخدام الأسمدة مما يعكس الأولوية السياسية القصوى الموجهة نحو مضاعفة الإنتاج الغذائي وتقليل

تكلفته، غير ان الانسان أسرف في استخدام الأسمدة والمخصبات الزراعية وأضافتها إلى التربة الزراعية بهدف زيادة الإنتاج، دون أن يعلم أن هناك معدلات معينة من هذه الأسمدة لا يمكن أن يستفيد النبات بأي كميات زائدة عنها، لذا فأن هذه الكميات الزائدة عن حاجته من الأسمدة تذوب في مياه الري ومياه الصرف الزراعي ويذهب جزء كبير منها إلى المياه السطحية والمياه الجوفية، ان الاسمدة الزراعية هي المصدر الرئيسي للاملاح المغذية (النترات والنتريت والفوسفات) المسؤولة عن ظاهرة الاثراء الغذائي.

- **ماهي الاملاح المغذية:**

هي تلك الاملاح التي تحتاجها الكائنات الحية وخاصة النباتات بكميات مختلفة لكي تنمو وتزدهر ومن هذه الاملاح الفوسفات والنترات والنتريت.

يعتبر الفسفور واحد من العناصر المهمة في العمليات الحيوية في الكائنات الحية، فهو عنصر مهم في تركيب ATP و ADP بالإضافة إلى كونه يدخل في تركيب العظام والأسنان، وهو يوجد في الطبيعة على شكل فوسفات، وتلعب العوامل الجوية كالأمطار والرياح دورا مهما في إيصاله للأنهار والبحار، حيث تمتصه النباتات البحرية ومن ثم يصل إلى الطيور التي تعتاش على هذه النباتات، ويوجد الفسفور بكمية كبيرة في فضلات الإنسان والحيوانات والتي تستخدم فيما بعد كسماد للمزروعات، وحديثا ونتيجة التقدم التكنولوجي أصبح الفسفور يدخل في تركيب الأسمدة وبهذه الطريقة، بالإضافة إلى تحلل النباتات والحيوانات الميتة، يتم إيصاله للتربة ومن ثم إلى النباتات، كما يدخل الفسفور في صناعة مساحيق الغسيل مما أدى إلى إرتفاع نسبته في المياه العادمة، وبالتالي إلى حدوث تلوث في الأنهار والبحار والمياه الجوفية مما دفع العلماء إلى البحث عن طرق لإزالة مركبات الفسفور من المياه العادمة، أما عن الكميات التي تصل إلى البحار والمحيطات فهي في العادة تترسب في قاع البحر لتشكل مصدرا مختزنا من مصادر الفسفور.

اما النتروجين فيشكل ما مجموعه 79٪ من حجم الغلاف الغازي، ويدخل في تكوين الكثير من المواد،وفي العقود الاخيرة استخدم بشكل واسع في صناعة الاسمدة النتروجينية، والنيتروجين لا يستخدم بصورة مباشرة من الغلاف الجوي كونه عنصرا خاملا، وإنما يجب أن يتم تحويله إلى مركبات (املاح) تستطيع بعدها النباتات والإنسان من استخدامه، وهذه التحولات إما أن تكون ناتجة عن البرق أو النشاطات البركانية أو عن البكتيريا الموجودة في التربة، والتي تقوم بتحويل النيتروجين إلى نيترات ومن ثم تتحول إلى أحماض أمينية وبروتينات.

هذا وتعتبر فضلات الكائنات الحية وتحللها مصدرا مهما ايضا للنيتروجين، حيث تقوم البكتيريا بتحويلها إلى نيتريت NO_2 ثم إلى نيترات NO_3، وبعد ذلك إما يتم امتصاصها عن طريق الجذور أو تتحول إلى غاز النيتروجين N_2 الذي يعود إلى الجو، تنقل الأنهار في أوروبا وجنوب وشرق أسيا أعلى معدلات النتروجين غير العضوي المذاب من كل المصادر البرية إلى البحار،ويضاعف مستويات النتروجين الفقدان الواسع النطاق للحواجز الطبيعية مثل الأراضي الساحلية الرطبة والشعب المرجانية.

- **ظاهرة الاثراء الغذائي:**

ان اخطر مشكلة بيئية تسببها الاسمدة الكيميائية هو بكونها مصدرا للمغذيات الكيمياوية كالفوسفات والنترات، ورغم أنها عناصر مغذية ضرورية لنمو الكائنات الحية، كما ذكرنا سابقا الا انها تعتبر ملوثات عند بلوغها مستويات عالية، وبالتالي فقد تسبب نموا كثيفا للطحالب في الأنهار أو الخزانات مؤدية إلى ظهور ظاهرة الاثراء الغذائي Eutrophisation، وهي الشيخوخة المبكرة التي تصيب النظام المائي، مما يؤدي إلى تغير في طبيعة المياه(الطعم والرائحة واللون) ونوعيتها من حيث يتم تكوين نموات طحلبية فوق أسطح المياه مع انبعاث الروائح الكريهة، ومن المعروف أن صرف مياه المجاري في الأنهار والبحيرات يزيد من هذه المشكلة لأن المخلفات تعمل كسماد جيد للطحالب تزيد نموها بدرجه هائلة.

الطحالب ومشكلة الاثراء الغذائي:

الطحالب كائنات حية بسيطة تعيش في المحيطات والبحيرات والأنهار والبرك والتربة الرطبة. ويسمى الكائن الحي الواحد من هذا النوع باسم الطّحلب. تضم الطحالب ما يقرب من 20 الف نوعا، و هي من المنتجين المهمين للمادة العضوية و الاوكسجين، وبذلك فهي ذاتية التغذية، وذلك لاحتوائها على صبغة الكلوروفيل.

تعيش الطحالب بهيئة خلايا مفردة و تكون اجسام متعددة الخلايا من مختلف الاشكال يدعى الثالوس (Thallus) (خيوط او كرات او عناقيد متعددة الطبقات)، ويسمى جسم الطحلب بالثالوس وذلك لان أنسجة الطحلب غير متباينة نسبيا أي أن هذه الأنسجة لا تتمايز بقدر يكفي لتكوين جذور حقيقة أو سيقان أو أوراق.

يتغير تكوين مجتمع الطحالب بشكل معنوي على المستويين الكمي و النوعي اعتمادا على محتوى الماء من الاملاح المعدنية، و كذلك مواصفات المواد الملوثة الرئيسة.

معظم الطحالب تعيش في البيئة العذبة أو المالحة، كما يعيش البعض منها على الصخور معيشة تكافلية مع الفطريات مشكلين معا ما يعرف بالأشنات، وتتخذ الأنواع العديدة من الطحالب ألوانا شتى تتراوح بين الأخضر و الأخضر المصفر والأخضر المزرق و الأحمر و الأصفر والبرتقالي والأخضر الزيتوني والبني، وتتخذ الطحالب أشكالا متعددة منها الكروية أو الخيطية أو صفائح أو أشرطة وكذلك أنواعا تأخذ أشكالا متفرعة.

تتفاوت الطحالب كثيرا في أحجامها فالكثير من أنواعها أحادى الخلية توجد عائمة أو طافية وهي مجهرية الحجم، بينما يبلغ طول اكبر أنواع الطحالب حوالي 60 مترا وهو من الطحالب البنية، ان من اهم مجموعات الطحالب هو

مايعرف بمجموعة الطحالب الخضراء، و هناك ما يقارب 7000 نوع من الطحالب التي تنتمي إلى هذه المجموعة، وتعيش هذه الطحالب في المياه المالحة، والمياه العذبة وفي التربة الرطبة، كما أنها يمكن ان تعيش على جذوع الأشجار الرطبة، وتحتوي هذه المجموعة من الطحالب على كل من الكلوروفيل أ والكلوروفيل ب ويتجمع النشا الذي هو الناتج النهائي لعملية البناء الضوئي في البلاستيدات الخضراء في مراكز تكوين النشا (بيرنويد)، كما أن لها جدارا خلويا يحتوي على مادة السيليلوز، والطحالب الخضراء ليس جميعها خضراء اللون، ولكن يمكن أن تأخذ اللون البرتقالي/ الأحمر أو لون الصدأ حسب نوع أصباغ الكاروتين الموجودة فيها.

يختلف تركيب وشكل الطحالب الخضراء فهي إما أن تكون عبارة عن خلية واحدة مثل طحلب الكلاميدوموناس أو مركبة من تجمع عدة خلايا، وتأخذ شكل مستعمرة كروية مثل طحلب باندروينا أو كرة مجوفة مكونه من عدد كبير من الخلايا مثل طحلب الفولفكس، أو قد يكون الطحلب على شكل خيطي مثل السبيروجيرا، أو على هيئة شريط ياخذ شكل ورقة مثل طحلب خس البحر، تشترك الطحالب الخضراءمع غيرها من الطحالب في كونها بادية السلسلة الغذائية في البيئة المائية وتعتبر مصدرا أساسيا لغذاء الأسماك والحيوانات البحرية، وتضيف الطحالب الأوكسجين إلى الماء وهو ضروري لتنفس الأسماك ونشاط البكتيريا الهوائية التي تعمل على تحليل المواد العضوية.

اما المجموعة الاكثر خطورة في تكوين ظاهرة الاثراء الغذائي فهي مجموعة الطحالب الخضراء – المزرقة، حيث تستطيع بعض أنواع الطحالب الخضراء، المزرقة أن تشكل منزلقات أو أغلفة داكنة على الصخور بطول شواطئ الأنهار والبحيرات والمحيطات، وتوجد أنواع أخرى من هذه الطحالب في التربة، مشكلة طبقة رقيقة على أرض رطبة، وتبدو البحيرات التي تتشكل فيها الطحالب الخضراء، المزرقة بأعداد كبيرة مخضرة أو خضراء مائلة إلى الزرقة، وبإمكان أنواع قليلة من الطحالب الخضراء، المزرقة أن تسمم السمك أو الماشية أو حيوانات أخرى تشرب الماء الذي يحتوي على هذه الكائنات، ويمكن رؤية معظم الطحالب المزرقة

بالمجهر فقط، ويلاحظ أن لبعض الأنواع خلية واحدة فقط، وأن الخلايا تشكل في الأنواع الأخرى خيوطاً، وتفتقر خلايا الطحالب الخضراء، المزرقة إلى نواة واضحة؛ وبالإضافة إلى اليخضور تحتوي الخلايا على خضاب أزرق أو أحمر (مادة ملونة)، وتجعل مجموعة الخضاب بعض الطحالب تظهر متوردة أو ضاربة إلى السمرة أو سوداء، وتستطيع بعض الأنواع من الطحالب أن تأخذ النيتروجين من الهواء وتحوله إلى مركبات تسمى النترات، وهكذا، فإنها تساعد في تخصيب التربة أو المياه، ومعظم الطحالب الخضراء، المزرقة تتكاثر بالانشطار الخلوي فقط.

تأثيرات ظاهرة الاثراء الغذائي:

يتطلب النمو الطحلبي العديد من المواد المختلفة كثاني اوكسيد الكاربون ونتروجين وفوسفور وحديد ومنغنيز وبورون وكوبالت وفيتامينات وغيرها، ويفترض ان ازالة أي من المغذيات الاساسية سيمنع النمو الطحلبي، غير ان هناك جدل علمي حاد حول أي من المغذيات يجب السيطرة عليه، هناك شعور عام بان السيطرة على النتروجين والفسفور هي الافضل، غير ان بعض العلماء يعتقد بان توفر الكاربون هو عامل محدد اكثر اهمية بكثير، ان الجواب الاكثر احتمالا هو ان الفسفور يشكل عنصرا محددا في بعض الاجسام المائية وليس في اخرى حيث توجد تراكيز كبيرة منه، ان وصول كميات معينة من الاملاح المغذية مثل الفوسفات والنترات التي تمر عادة عبر المرشحات في منشات معالجة المياه في طريقها الى النهر، تساعد كثيرا على زيادة ظاهرة الاثراء الغذائي، ولحسن المصادفات تعتبر النترات من الاملاح القليلة الضرر للاشخاص البالغين اللذين يتعرضون لها،بينما يكون مؤذي للاطفال التي تحتوي امعائهم كائنات مجهرية مختلفة، حيث تقوم هذه الكائنات بتحويل النترات الى نتريت والثانية هي المادة السامة للانسان حيث تتحد مع هيمكلوبين الدم لتكون مثيموكلوبين، وهي حالة تمنع حمل غاز الاوكسجين من الرئتين الى باقي انحاء الجسم، تعتبر الاملاح الذائبة في الماء ضرورية لنمو النباتات المائية بتراكيزها الاعتيادية ولكن متى ما زاد تركيزها ظهر تاثيرها البايولوجي في هذه النباتات. تؤثر زيادة الاملاح المنتشرة في النباتات النامية بالانهار

ذات المياه الجارية كثيرا ولكن قد يظهر تاثيرها البايولوجي الاعلى في حالة حصر ماء النهر او حجزه في مستودع ما او عندما يصب النهر في مياه البحيرة، تعد الطحالب وخاصة الطحالب الخضراء المزرقة مؤشر جيد في ظهور او اختفاء الاملاح اذ تؤثر زيادة او نقصان الاملاح على نقصان وزيادة الكثافة السكانية لهذه الاحياء، وعليه في حالة الزيادة المضطردة للاملاح معناه ازدهار عدد كبير من انواع هذه الاحياء وزيادة حساسيتها.

ان وجود بعض الاحياء الوحيدة الخلية مؤشر على التلوث ايضاً فهذه الاحياء تطفو على سطح الماء وذلك بتغطيتها كامل سطح الماء بطبقة كثيفة من هذه الاحياء، وهذه تسبب عدم وصول الضوء الكافي الى الاعماق، كما يؤدي موت هذه الطحالب الى استهلاك الاوكسجين في الاعماق، فضلا عن تخريب البحيرات المستخدمة كمنتجعات سياحية.

كما وأن الطحالب تحدث أضرارا اقتصادية لاتلافها السفن اذ تساهم في تكوين ما يعرف باسم قلف المراكب، اذا تترسب هذه الطحالب بكثرة على جدران السفن (قد تصل الى عشرات الأطنان) مما يؤدي الى خفض سرعتها وزيادة استهلاكها من الوقود ،ولذلك تطلى هياكل السفن بنوعين من الطلاء تحتوي على مركبات النحاس والزئبق يعمل الأول على وقايتها من التآكل ويعمل الثاني على وقايتها من تواجد النحاس.

4. النفط مصدرا للتلوث:

قد يحدث تلوث الماء من تسرب النفط الى المسطحات المائية، إما بطريقة غيرمباشرة كما هو الحال في تفجير آبار النفط البحرية، او بطريقة مباشرة، كما يحدث عندما تُلقي الناقلات البحرية المياه المستعملة في غسيل خزاناتها في البحار مما يؤدي الى تأثيرات بيئية عديدة.

يعد النفط من أكثر الملوثات خطورة حيث يسبب ضرراً بينا للمحيط ومصبات الأنهر، وربما في مياه الأنهر المختلفة نفسها بسبب اصطدام ناقلات النفط وتسرب محتوياتها في مياه البحر، أو الخليج و بصورة عامة يعتبر النفط الخام شيئا غير مرغوب فيه عندما يخرج من باطن الأرض لينتشر على سطح مياه البحر بشكل يؤدي إلى تلوثها.

تعتبر كميات النفط التي تصل إلى مياه البحر والمحيطات من أكثر ملوثات المياه في العالم خطورة وتقدر كميات النفط التي تلوث المياه نتيجة لعمليات نقل النفط الخام وحدها بحاولي 2 مليون طن سنويا، أما كمية النفط التي تلوث المياه نتيجة لاستخدامات الإنسان فتقدر بأكثر من عشرة ملايين طن سنويا، هذا بالإضافه إلى كميات أخرى تطرح في مياه البحر نتيجة لعمليات التنقيب واستخراج النفط، والذي يزيد من احتمالات تلوث المياه بالنفط هو بعض الحوادث في ناقلات النفط، فقد وقع خلال الفترة من 1970 – 1990 حوادث عديدة لناقلات النفط، وانسكب ما قيمته 75٪ من النفط الذي كانت تحمله هذه الناقلات، وتشير بعض التقديرات الى ان حجم النفط الذي انسكب في هذه الفترة بلغ بحدود ثلاثة ملايين طن. وكلنا يذكر حادثة غرق ناقلة النفط Exxan Valdez في مارس 1989 نتيجة اصطدامها بالصخور المرجانية أمام خليج برنس وليم بألاسكا – أمريكا عندما كانت تتفادى الارتطام بأحد جبال الجليد العائمة مما أدى إلى تسرب نحو 260000 ألف برميل نفط من هذه الناقلة، وانتشر هذا الزيت على مساحة تقدر بحوالي 1000 ميل مربع أمام شواطئ المنطقة والمنطقة المجاورة لها، ومن الحوادث المشهورة ايضا ما حصل للناقلة توري كانيون التي اصطدمت بالصخور في العام 1967، وتسبب الحادث في تسرب نصف حمولتها البالغة 120000 طن، فضلا عن تسرب كميات كبيرة من النفط الخام في بحر الشمال وأنابيب النفط المنتشرة في بعض الجزر التي تم التنقيب عن النفط فيها كما في الخليج العربي والبحر الأحمر وغيرهما، كما تعرضت محطة ميناء الأحمدي في الكويت للتدمير في العام 1991 ونتج عن ذلك اندفاع البترول الخام

إلى مياه الخليج العربي بمعدل حوالي 2 مليون برميل/ يوم، وخلال 4 أيام تالية كانت مياه الخليج مغطاة بالبترول الخام بطول 50 ميل وعرض 12 ميل وسمك 3 ملليمتر، ويقدر ايضا بأن أكثر من 22000 طن من النفط قد تسربت في البحر المتوسط خلال الفترة ما بين 1987 و1996 بسبب حوادث الشحن، كما أسهمت الحروب الإقليمية أيضاً في تدهور موارد البحار والمناطق الساحلية فقد تسببت الحرب العراقية الإيرانية في تدفق 2 – 4 مليون برميل من النفط إلى البحر، وتدفقت 6 – 8 مليون برميل من النفط في منطقة رويمي البحرية خلال حرب الخليج الثانية، ولقد وجد أن البنزوثيوفين وبعض مستبدلاته الميثيليته(Benothiophens and some of Its methyl substituted) وهي مركبات كيميائية ثابتة تظهر في مياه البحار والمحيطات نتيجة تلوثها بالنفط، كما وجدت هذه المركبات في الأحياء المائية الموجودة في هذه المياه الملوثة بزيت البترول الخام، لقد أصبحت حقيقة علمية ثابتة أن المركبات الهيدرو كربونية العطرية متعددة الحلقات (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs هي أحدى النواتج الموجودة في الغازات المنبعثة من أحترق منتجات النفط التي تستخدم كوقود مثل البنزين والكيروسين في ألآت الاحتراق الداخلي مثل السيارات وغيرها، وكذلك من أحترق الديزل في المصانع ومحطات التدفئة وتوليد الكهرباء، ويساهم هذا المصدر بشكل كبير في تلوث الهواء حيث تتجمع هذه المركبات فوق الحبيبات الموجودة بالهواء وتسقط بما عليها من ملوثات إلى المياه السطحية فتلوثها وتلوث رواسب قاع تلك المياه.

اضافة الى ما تقدم هناك ملايين الأطنان من فضلات النفط ربما تطفو على سطح المحيطات المختلفة على شكل بقع زيتية لا تؤدي هذه البقع لأضرار ملموسة، ولكن يحدث الضرر الملموس عندما ترمي بها الأمواج على الساحل أو المواقع التي تعتاش على اصطياد اسماك البحر حيث بات معروفا تأثيرها في مختلف الإحياء المائية والتي يمكن الإشارة إلى بعضها بالتالي:

1. تأثيرات التلوث بالنفط على الهائمات النباتية والطحالب الأخرى:

تعتبر الهائمات النباتية المسئول الأول عن تثبيت الطاقة في البيئة البحرية (بوساطة عملية التركيب الضوئي)، وهذه الهائمات تتغذى عليها الحيوانات البحرية بصورة مباشرة أو غير مباشرة، وقد أظهرت الدراسات الحديثة قياس تراكيز النفط الخام اللازمة لحدوث حالات الموت في الهائمات، ووجد أن التركيز الذي يؤدي إلى الموت يتراوح بين 0.0001 – 1 مليلتر/لتر، أما تأثير التلوث النفطي فهو اقل على الأحياء النباتية الأخرى بسبب قدرتها على استرجاع قابلية نموها بعد فترة من الزمن وإضافة فروع جديدة بالقرب من قواعد الفروع القديمة.

2. التأثير على الرخويات والقشريات:

تعاني الرخويات (كالمحار) من حالات نفوق هائلة عند حدوث حالات تسرب للنفط ووصوله إلى منطقة الساحل وحادث انسكاب زيت الديزل قرب شواطئ كاليفورنيا، والذي أدى إلى قتل أعداد هائلة من المحار خير دليل على ذلك، كما لوحظ من الدراسات أن تراكيز النفط المؤثرة جدا على عملية الإخصاب تراوحت بين واحد إلى ألف جزء بالمليون، ولوحظ أيضا انخفاض في قابلية وكفاءة هذه الأحياء البحرية على السباحة، ومن الإحياء الأخرى المعرضة لتأثير التلوث النفطي هي مجموعة القشريات (كالروبيان و السرطان)، وهي عموما ليست تحت التأثير المباشر للملوثات النفطية المتسربة كسابقتها (الحيوانات الرخوية والقشريات الثابتة غير المتحركة)، لأن هذه المجموعة لها القابلية على الحركة مما يجعلها أكثر قدرة على تحاشي التعرض للتراكيز العالية من النفط عدا صغارها ويرقاتها وبيضها التي لا تستطيع الفرار مما يؤدي إلى حالات نفوق كبيرة.

3. التأثير على الأحياء البحرية الأخرى والطيور:

تعتبر شوكيات الجلد وخيار البحر من أكثر الأحياء حساسية وتأثرا بالنفط المتسرب الى البحار، إذ لوحظ اختفاؤها أو انقراضها من بيئات تعرضت

لحوادث التلوث النفطي. وفي المنطقة البحرية للخليج حدثت حالات كثيرة جدا من النفوق في الأحياء البحرية أثناء فترة تشكيل بقعة زيت نوروز وبقعة النفط من الكويت، وبصورة خاصة الحيوانات الفقرية التي تتنفس كالأفاعي والسلاحف والدلافين، وقد وجد أن الكثير منها يصعد إلى الشاطئ لتموت هناك بعد إصابتها بضيق في التنفس وبالتهابات جلدية ونزف داخلي.

اضافة الى ما تقدم تعتبر الطيور من أكثر المجاميع البحرية تأثرا بالتلوث النفطي، إذ لوحظ انقراض أنواع عديدة منها من البيئة التي تتعرض طويلا لأخطار التلوث،وخير مثال ما حصل على الشواطئ السعودية نتيجة حرب 1991، حيث نفق العديد من الطيور نتيجة بقعة الزيت التي امتدت على تلك السواحل، كما وتكون مواطن الطيور وأعشاشها في الجزر المتناثرة (مثال جزيرة كبر في الكويت) والتي يغلف النفط شواطئها لفترات طويلة أكثر تضررا من غيرها، وبعد ترسب النفط إلى قعر البحر قد يؤدي إلى تضرر بعض الحيوانات السابحة في قعر البحر والحيوانات القاعية.

تقوم البكتريا بتحليل كميات من النفط وتستعيد الصخور طبيعتها بعد عام تقريبا، كما ابتكرت بعض الشركات منظفات معينة تم استخدامها في تشتيت النفط ولكن صارت هذه المنظفات عبئا كبيرا على البيئة إذ أنها تسبب تلوث البحر أكثر من النفط أحيانا لكونها سامة للعديد من الإحياء المائية، كما ان هناك طرق ميكانيكية لإزالة النفط وذلك بإحاطة النفط بنوع من الحواجز الميكانيكية إلى أن يتم إزالتها، أو جمع النفط بطرق ميكانيكية كالضخ الماص أو الامتصاص بالقش ولكن هذه الطرق عادة تكون بطيئة ومكلفة.

الفصل الرابع

الأحياء المجهرية في البيئة المائية

النظام البيئي المائي:

يمثل اي جسم مائي نظاما بيئيا معقدا، فالطاقة تدخل هذا النظام بصورة كبيرة على هيئة ضوء الذي يتحول الى طاقة كيمياوية بوساطة احياء البناء الضوئي سواء الطحالب عند الظروف الهوائية او البكتريا عند الظروف اللاهوائية، و تدعى هذه الاحياء بالمنتجون الاوليون (Primary producers)، وهي الاحياء التي تستغل ثنائي اوكسيد الكاربون كمصدر للكاربون و تحوله الى مواد عضوية، يشكل المنتجون الاوليون الخطوة الاولى في السلسلة الغذائية وبذلك يوفرون الغذاء للابتدائيات واللافقريات الصغيرة التي بدورها تكون غذاءً للاسماك، و بما ان النظام البيئي المائي (من محيطات وبحيرات وانهار وجداول و غيرها من الاجسام المائية الاخرى) يغطي حوالي ثلثي سطح الارض لذا فإن البيئات المائية تشكل المصدر الاعظم للمنتجين الاوليين.

مياه الشرب مصدرا للتلوث:

يعد توفير احتياطي ماء شرب امن احدى انجازات القرن العشرين في مجال الصحة العامة، فاستخدام الكلور في التعقيم على وجه الخصوص ساهم بشكل فاعل في خفض التعرض للممرضات المنتقلة عن طريق المياه و بالتالي الامراض الناجمة عنها.

في سبعينيات القرن الماضي اتجهت الجهود الى معالجة التلوث الكيميائي للمياه خصوصا بعد حادثة اضطرام النيران في نهر كوياهوجا في الولايات المتحدة الامريكية نتيجة لالقاء الفضلات الكيميائية فيه، ولكن بعد اندلاع وباء Cryptosporidiosis في مياه الشرب في العام 1993 الذي اصاب اربعمائة الف مواطن و اودى بحياة اكثر من مئة منهم اعاد الانتباه الى التلوث المايكروبي للمياه وهو الشكل الاوسع انتشارا والاكثر خطورة على الصحة العامة.

الاحياء المجهرية في البيئة المائية:

تحتل الاحياء المجهرية البيئة المائية بكل انواعها فقد تكون معلقة في المياه العذبة او مياه البحر (هائمات) أي تطفو بحرية، وليس لها القدرة على مقاومة حركة و جريان الماء، او في المياه الجوفية او على النباتات (Periphyton)، او تعيش في الترسبات القاعية (Benthos).

1. الاحياء المجهرية في المياه العذبة:

تتراوح درجة حرارة النظام البيئي للمياه العذبة بين درجة الانجماد (صفر مئوي) تقريبا الى ما يقرب من درجة الغليان (مئة مئوي) عند الظروف الجوية السطحية، تزداد درجة الحرارة درجة مئوية واحدة كل 30 سنتمتر تحت سطح الارض، اما الينابيع الساخنة فتتكون عندما تمر المياه الجوفية خلال الطبقات العميقة لقشرة الارض.

تحتوي المياه الجوفية على مغذيات (Nutrients) ذائبة قليلة و غازات ذائبة، لذلك فانها تستوطن بفلورا مايكروبية متفرقة و قليلة قد تصل الى عشرة خلايا لكل مليلتر متمثلة بعدد قليل من الانواع، و ربما تكون مشابهة لاحياء التربة المجهرية رمية التغذية التي تكيفت للمعيشة في هذه الظروف القليلة المغذيات، وبصورة عامة فان الانواع المايكروبية الموجودة في المياه العذبة تعود الى الاجناس الاتيـــــــــة: Micrococcus و Flavobacterium و Chromobacterium و Bacillus و Proteus و Pseudomonas و Leptospira و غيرها، فضلا عن الهائمات الحيوانية وهي عبارة عن حيوانات مائية صغيرة الحجم تكون هائمة في المياه، وهناك ثلاثة مجاميع تصنيفية تتواجد في المياه العذبة وهي الروتيفيرا و متفرعة الارجل (Branchiopods) و copepods معظمها عبارة عن مرشحات (تركز الجسيمات المعلقة) او مفترسات، كما انها تفتقر الى النباتات و الحيوانات الراقية.

يتالف الجسم المائي مثل مستنقع او بحيرة من طبقات او مناطق كل منطقة تمتلك النبيت الطبيعي الخاص بها الذي يتحدد بوفرة هذه العوامل، وهي كالاتي:

1. المنطقة الساحلية (Littoral) هي المنطقة التي تقع بالقرب من اليابسة حيث المياه ضحلة الى درجة ان الضوء يخترق الى العمق وتكون غنية بالمادة العضوية.
2. طبقة قبل القاع (Profundal) تحتل المياه الاعمق حيث الشمس غير قادرة على الاختراق و لذلك فان عمليات البناء الضوئي تتوقف.
3. طبقة القاع (Benthic) التي تؤلف الراسب من الطين والمادة العضوية في قاع المستنقع او البحيرة.

تختلف المجتمعات المايكروبية كما و نوعا بشكل ملحوظ تبعا لاختلاف الطبقات اعلاه، فالمنطقة الساحلية تحتوي على انواع مختلفة من البكتريا و الطحالب و بالتالي تحتوي على مغذيات اكثر قادمة من البر، و من هذه احياء الجسم المائي الاصيلة (Allochthonous) او الدخيلة (Autochthonous)، فضلا عن ان هذه المغذيات تميل الى التجمع على الصخور و السطوح الصلبة التي تستهلك بسهولة بوساطة الاحياء المتواجدة هناك.

2. الاحياء المجهرية في مياه البحر:

كلما تقدم الماء في مجراه الى المحيط اصبح غنيا بالاملاح الذائبة بصورة متزايدة، فماء البحر يحتوي على ما مقداره 3.5 ٪ من الاملاح مقارنة مع المياه العذبة التي تحتوي على ما يقرب من 0.05 ٪.

بسبب التركيز الملحي العالي وندرة الفوسفات والنترات في مياه البحار تختلف البكتريا المتوافرة في هذه البيئات عن تلك المتوافرة في بيئات المياه العذبة، كما ان المحتوى المايكروبي لها اقل بكثير من المحتوى المايكروبي للمياه العذبة، ومع

ذلك فهناك مجموعة من الاحياء المجهرية تزدهر في هذه المياه تدعى الاحياء المجهرية المحبة للملوحة (Halophilic microorganisms) وهي الاحياء التي تفضل التركيز الملحي العالي، في العقد الاخير كشف عن وجود البكتريا فائقة الصغر (Ultramicrobacteria) في الانظمة البيئية البحرية في المناطق ذات الكثافة العالية نسبيا،وتؤلف هذه البكتريا حوالي عشر حجم البكتريا "الاعتيادية" كما يمكنها العبور من المرشحات الدقيقة ذات اقطار 0.22 مايكرومتر ربما تمثل هذه الحالة استجابةً لانخفاض مستوى المغذيات والظروف البيئة المتطرفة.

من مواصفات البيئات البحرية هو تغاير العمق الذي يمكن ان يخترقه الضوء ولكنه يكون مقتصرا على المئة المتر الاولى، في حين يسود الظلام في الاعماق الاكثر من ذلك، وبالرغم من غياب البناء الضوئي فان الاوكسجين مايزال متوافرا وهذا بسبب المستويات المنخفضة من المغذيات المعدنية في مياه البحر التي تحدد كمية الانتاج الاولية (Primary production) ولذلك الفعالية تكون مختلفة التغذية، ولكن مع ذلك فانه في الاعماق المتطرفة الظروف اللااوكسجينية هي السائدة.

بالمقارنة مع بيئة المياه العذبة تظهر الانظمة البيئية البحرية تغايرا اقل في الحرارة والرقم الهيدروجيني على الرغم من وجود استثناءات لهذه القاعدة العامة، هناك مشكلة تتعلق ببيئة المياه البحرية اكثر من غيرها من البيئات وهي الضغط الهيدروستاتيكي الذي يتزايد باطراد في المياه الاعمق، عند 1000 متر يصل الى حوالي 100 مرة اكثر من الضغط الجوي، تدعى الاحياء المجهرية المتواجدة في هكذا اعماق بالمحبة للضغط الهيدروستاتيكي(Barophilic microorganisms) والتي لا تتواجد فقط عند الضغط الهيدروستاتيكي العالي فقط بل عند الدرجات الحرارية المنخفضة جدا، اذ يرافق ازدياد الضغط الهيدروستاتيكي انخفاضا في تركيز المغذيات، فضلا عن ان درجة الحرارة تنخفض بازدياد العمق وصولا الى 2 درجة مئوي باستثناء المناطق المحيطة بالفتحات الساخنة (Hot vents) وبناءً على ذلك فمياه البحار و المحيطات توفر بيئة متطرفة للاحياء المحبة للتطرف (Extremophiles).

لا يمكن لمعظم البكتريا المتواجدة في المياه العذبة او في التربة ان تعيش عندما يزيد الضغط الهيدروستاتيكي عن 200 جو.

مقارنة مع الانظمة البيئية في اليابسة حيث النباتات هي المسؤولة عن معظم الطاقة المثبتة بوساطة البناء الضوئي فالانتاج الاولي في الانظمة البحرية يكون في الغالب مايكروبيا متمثلا بافراد الهائمات النباتية (مصطلح شامل يصف الكائنات احادية الخلية التي تقوم بالبناء الضوئي)، وهي عبارة من مجتمعات متنوعة من ناحية التصنيف باحجام اصغر من 50 مايكرومتر و تتكون بصورة رئيسة من الطحالب و السيانوبكتريا و ثنائية الاسواط (Dinoflagellates) والدايتومات، وتكون مقتصرة التواجد في المناطق التي يتوافر فيها الضوء ويكون قادرا على الاختراق، الدايتومات هي الهائمات النباتية السائدة في البحر في حين تسود الكريتوفايتومات و الطحالب الخضر في المياه العذبة.

كما تتواجد الابتدائيات التي تشكل المستهلكات الرئيسة للبكتريا و الهائمات الحيوانية في مناطق المياه المفتوحة مثل السوطيات (Flagellates) و الهدبيات (Ciliates)، والاخيرة تتغذى على السوطيات و الطحالب و الهدبيات الصغيرة.

كما تتواجد في مياه البحر انواع من الهائمات الحيوانية تشمل copepods و ctenophores و urochordata والديدان السهمية (Arrow-worms) فضلا عن تواجد بعض انواع الحلزون.

- **العمليات المايكروبية في رواسب القاع:**

تستوطن البكتريا المحللة اللاهوائية المنطقة القاعية وتقوم بالعمليات ذاتها التي تقوم بها في رواسب المياه العذبة فهناك العديد من العمليات المعقدة و المهمة جدا في ذات الوقت سواء كانت كيميائية او فيزيائية او حياتية تجري بين الماء

ورواسب القاع، كما ان كمية و نوعية الاحياء المجهرية والعمليات الكيموحياتية لها تاثير كبير في مستويات الماء من النتروجين و الفوسفور ومركبات الكبريت.

في رواسب القاع التحلل الهوائي للمكونات العضوية يحصل في الطبقات العليا (عدة ملميترات) وهي مصدر للاملاح المعدنية الذائبة، بينما التكسير الحياتي الذي يحدث في الاسفل يتسبب في اطلاق مواد تعد سامة للموطن المائي مثل كبريتيد الهيدروجين و الميثان.

تلعب رواسب القاع دورا مهما للغاية في المياه المغلقة حيث المواد العضوية المعلقة تهوي الى الاسفل نتيجة لعدم حركة المياه والتي لها تاثير كبير في تحول النتروجين و الفوسفور و مركبات الكبريت و التي بدورها تؤثر في نوعية المياه، من اهم العوامل التي تنظم سرعة انتقال النتروجين و الفوسفور (و كذلك الحديد و المغنيسيوم) من الرواسب الى المياه هو محتوى الماء من الاوكسجين المذاب في الطبقات القريبة من القاع. يبدأ الانتشار الفعال (Active diffusion) للفوسفات في المياه عندما تنخفض معدلات الاوكسجين المذاب الى اقل من واحد ملغرام لكل 100 سنتمتر مكعب من الماء فضلا عن تاثير الحرارة و معدل تحلل المواد العضوية وحامضية الماء و فعالية الاكسدة و الاختزال.

تتواجد الاحياء المجهرية الاتية بصورة شائعة في رواسب قاع المياه السطحية:

- البكتريا المحللة للسليلوز مثل الانواع العائدة للاجناس Sporocytophaga و Cytophaga و Pseudomonas و Achromobacter، و كذلك اللاهوائية مثل الجنس Clostridium.
- عند غياب الاوكسجين، ينمو العديد من بكتريا التعفن (Putrefying bacteria) (انتاج كبريتيد الهيدروجين من البروتينات) و البكتريا المختزلة للكبريتات و بكتريا الدنترة و البكتريا المولدة للميثان و بكتريا الهيدروجين.

- قد تتواجد البكتريا المؤكسدة للامونيا في رواسب القاع باعداد قليلة في الطبقات العليا من الرواسب كونها بكتريا هوائية إجباراً.
- يرتبط توافر البكتريا الهوائية المؤكسدة للميثان في رواسب القاع بتراكيز الاوكسجين والحديد.

لاحظ العديد من الباحثين و الدارسين لبكتريا البحار الدور المحتمل للبكتريا المتواجدة في رواسب القاع في تكوين النفط بسبب امتلاكها انظمة انزيمية فعالة تمكنها من تكسير و استهلاك المواد العضوية المختلفة و تحول قسم معين منها الى نفط.

- **العوامل المؤثرة في نمو الاحياء المجهرية في المياه:**

تتأثر اعداد و انواع الاحياء المجهرية في المياه بعدد كبير من العوامل الكيميائية و الفيزيائية والتي تتفاعل مع بعضها البعض بطرق مختلفة داخل الانظمة البيئية، من الممكن تمييز مجموعتان من العوامل التي تمتلك تاثيرا مهما في العلاقات النوعية و الكمية بين الاحياء المجهرية وهي العوامل الحياتية (جميع كائنات المياه الحية مثل النباتات و الحيوانات و الاحياء المجهرية و العلاقات التي تحكمها)، والعوامل اللاحياتية المتمثلة بالضوء والطاقة الحرارية و تفاعلات الماء ومعدل جريان الماء و المناخ و المركبات الذائبة و العالقة في الماء (المادة العضوية الميتة و المادة اللاعضوية والغازات مثل الاوكسجين و ثنائي اوكسيد الكاربون و الميثان و غيرها).

العوامل اللاحياتية:

1. **الطاقة الضوئية:**

يلعب الضوء دورا مهما في عملية البناء الضوئي فكمية الضوء التي تخترق طبقات الماء تعتمد بشدة على موقع الشمس و الشفافية و لون و عمق المياه. فكلما

كان زاوية سقوط الاشعة الشمسية اقل كلما قلت الخسارة في اشعة الشمس المنعكسة من المياه، اعتمادا على التشميس (Insolation) و عكارة (Turbidity) المياه تخترق اشعة الشمس الفعالة حياتيا بعمق يتراوح من 10 الى 150 مترا، وبدون شك مياه البحر اكثر صفاءً و اقل تلوثا من مياه داخل اليابسة لذا فاشعة الشمس تخترقها بعمق يتراوح 150 متر الامر الذي يكون منطقة تسمى المنطقة الضوئية (Photic zone) حيث يحدث البناء الضوئي.

لا يكون توافر الافراد ذاتية التغذية (Photoautotrophs) متطابقا في المياه بسبب ظروف الضوء المختلفة، وغالبا ما يكون الدليل على كمية الاضاءة هو الحدود الدنيا لتواجد الطحالب فالتواجد الاكثر يحصل في العمق 0.5 الى 2 متر، معظم الطحالب تمتلك القدرة على تغيير وتكيف لونها حسب ظروف الضوء.

تمتلك الاشعة فوق البنفسجية والاشعة ذات الاطوال الموجية العالية تاثيرا سلبيا، مثلا، الضوء الازرق (366 – 436 نانوميتر) يثبط عملية اكسدة النتريت بوساطة Nitrobacter vinogradskyi، كما ان للضوء تاثير في نمو الفطريات المائية، وعلى اية حال يكون تاثير الاشعة الزرقاء و الخضراء اكثر من الاشعة الحمراء.

2. درجة الحرارة:

تعتمد كمية الطاقة الحرارية(كما في حالة طاقة الضوء) على زاوية سقوط اشعة الشمس (موقع الشمس بالنسبة الى سطح الماء) لذلك فان درجة الحرارة تتغاير مع الوقت في اليوم و الفصل و خط العرض.

في المياه الجارية مثل الانهار تكون درجة الحرارة ثابتة في كل مقطع الماء نتيجة للخلط الثابت بوساطة جريان الماء، مع ان هكذا موطن مائي يتميز بتذبذب درجة الحرارة اليومية خصوصا في الانهار الضحلة.

اما في المياه الساكنة مثل البحيرات حيث التيارات المائية ضعيفة جدا او غير موجودة اصلا فالحرارة تتذبذب اثناء الدورة السنوية، تتميز البحيرات، و خصوصا العميقة منها، بالتطبق العمودي (Vertical stratification) والذي يعني تكوين طبقات تتغاير تبعا الى مكونات و درجة حرارة تلك الطبقات.

للمياه الدافئة و المياه القريبة من السطح، والتي تكون معرضة للاضاءة (illuminated) كثافة اقل من نظيراتها الباردة و المظلمة، يمنع الفرق في الكثافة خلط الطبقات.

3. حركة المياه:

لخلط المياه اهمية قصوى لكل من توزيع الحرارة و توازن المحتوى الكيميائي (غازات و مغذيات و مواد تعادل الضغط الاوزموزي و حامضية الماء و غيرها).

4. الضغط:

يعد الضغط عاملا بيئيا مهما اذ يؤثر بقوة في حياة الاحياء المجهرية من بين اشياء عديدة اخرى عن طريق التاثير في فعالية النظام الانزيمي للخلايا.

5. حامضية الماء:

يتراوح الاس الهيدروجيني الامثل للبكتريا بين 6.5 الى 8.5 في حين يكون الاس الهيدروجيني لمعظم البحيرات 7 وللانهار 7.5 وللطبقات السطحية للبحار 8.2.

بسبب المحتوى العالي من الكاربونات و مواصفاتها كداريء (Buffer) فان الاس الهيدروجيني للماء لا يتذبذب بصورة معنوية، و لكن عند المستويات العالية من التشميس و النمو السريع لاحياء البناء الضوئي قد يزداد الاس الهيدروجيني بشكل كبير.

من الممكن ملاحظة التغييرات العالية نسبيا في الاس الهيدروجيني في البحيرات الغنية بالمغذيات حيث تتراوح قيمه بين 7 الى 10 الامر الذي له تاثير واضح في المجاميع السكانية للبكتريا و الفطريات.

6. الملوحة:

معظم الاحياء المجهرية التي تعيش في الانهار و البحيرات النظيفة (الخالية من التلوث) تكون محبة للملوحة و في الظروف الطبيعية لا تعيش في المياه التي تتعدى نسبة الملوحة فيها 10٪.

نتيجة للملوحة، تعد مياه البحر بيئة حياتية منفصلة و متميزة حيث تكون البكتريا والفطريات التي تعيش في البحار محبة للملوحة والتي تعتمد عملياتها الحياتية على تركيز معين من كلوريد الصوديوم، و هكذا معظم الاحياء المجهرية التي تعيش في هكذا مواطن لا تتمكن من العيش في اي مكان اخر.

الكتلة الاكبر من الاملاح (99٪) متكونة من العناصر الاتية: الكلور و الصوديوم و الكبريت و المغنيسيوم و الكالسيوم و البوتاسيوم.

نسبة الملوحة المثالية للبكتريا و الفطريات المحبة للملوحة تتراوح من 2.5 الى 4 ٪، و في المحيطات بمعدل 3.2 الى 3.8 ٪ في ترتفع هذه النسب بكثير في البحار المغلقة والبحيرات المالحة.

الزيادة في نسبة الملوحة يؤثر في دورة حياة البكتريا و الفطريات و كذلك في صفاتها المظهرية و الفسلجية.

في البحيرات ذات التركيز الملحي العالي تحتوي على احياء قليلة التنوع اذ تكون الاحياء المجهرية الرئيسة ممثلة بالبكتريا و السيانوبكتريا و السوطيات.

7. المواد غير العضوية الاخرى:

تعتمد دورة حياة احياء الماء المجهرية على مواد غير عضوية اخرى مثل مركبات الفوسفور و النتروجين التي تلعب دورا مهما في حياة تلك الاحياء، بجانب النتروجين الحر، وتتواجد في المياه السطحية الكثير من مركبات هذا العنصر مثل املاح النترات والنتريت و الامونيوم.

تستغل البكتريا مختلفة التغذية والطحالب النترات و املاح الامونيوم، وتتغاير كمية النتروجين التي من الممكن ان تتحملها انواع الطحالب المختلفة مثلا الدايتومات (مثل Asterionella) تتمكن من التكاثر حتى عند التراكيز العالية من النترات قد تصل الى 100 مايكروغرام نايتروجين لكل لتر، في حين الحد الاعلى للطحلب Pediastrum فقط 2 مايكروغرام نايتروجين لكل لتر، و كذلك هو الحال بالنسبة للبكتريا كما ان المستويات العليا للتحمل تتغاير بتغاير الانواع.

ويبقى العنصر الاكثر تاثيرا في نمو الطحالب هو الفوسفور، على الرغم من ان محتوى الماء من الفوسفور يكاد يكون منخفضا($0.01 - 0.1 mg\ P_2O_5/l$). يتواجد الفوسفور العضوي في المياه باشكال مخففة (Orthophosphates) و بهيئة املاح غير ذائبة مثل فوسفات الكالسيوم و فوسفات المغنيسيوم و غيرها، تخزن الطحالب الفوسفور في خلاياها بكميات تتعدى احتياجها، ويعد تاثير زيادة تركيز الفوسفور عن طريق ادخال الملوثات احد اسباب ظاهرة الازدهار المائي (Water blooming)، او الاثراء الغذائي التي تكلمنا عنها بشئ من التفصيل في فصول سابقة.

في البحيرات و البحار الفقيرة بالمغذيات من الصعب ان يكشف عن وجود ايونات الامونيوم و النترات و النتريت و الفوسفات اذ ان هذه الاملاح تستهلك من قبل الهائمات النباتية بعد تكوينها على الفور، يستمر النقص في مستويات مركبات

النتروجين و الفوسفور في المناطق الضوئية (Photic zones) للكثير من البحار الاستوائية طيلة ايام السنة في حين تعاني المناطق المعتدلة من تغيرات فصلية.

من ناحية اخرى يحدث تجميع النترات والفوسفات في المياه العميقة و البحيرات الكبيرة و البحار نتيجة لفعاليات الاحياء المجهرية مختلفة التغذية، تعد ايونات الامونيوم و النترات مصادر الطاقة لبكتريا النترتة (Nitrification bacteria) في حين قد يستغل الاوكسجين المرتبط بالنترات من قبل عدد من انواع بكتريا الدنترة (Denitrifying bacteria) لاكسدة المركبات العضوية عند الظروف اللاهوائية.

من الاملاح الضرورية للحياة هي مركبات كل من الكبريت و المغنيسيوم و الكالسيوم و الحديد و السليكون التي تستهلك من الاحياء المجهرية لبناء هياكل خلاياها و لتنشيط انزيماتها.

8. الغازات:

في خزانات المياه قد تتواجد كميات صغيرة من الغازات المذابة الى جانب الاملاح و المواد العضوية، يمتلك الماء القدرة على تخفيف الغازات و لكن قابلية الذوبان تقل كلما زادت درجة الحرارة و الملوحة فتكون قليلة في مياه البحر مقارنة مع احواض المياه العذبة، تشمل هذه الغازات بصورة رئيسة الاوكسجين و ثنائي اوكسيد الكاربون و النتروجين.

المصدر الرئيس لهذه الغازات هو الغلاف الغازي حيث تنفذ الغازات منه الى الطبقات العليا من الماء وصولا الى حالة التشبع، فضلا عن الغازات المذابة في المياه والرواسب فهي قد تتكون نتيجة للعمليات الكيموحياتية، و بهذا الشكل يتحرر الاوكسجين من النباتات الخضر نتيجة لعمليات البناء الضوئي و ثنائي اوكسيد الكاربون اثناء التنفس و النتروجين الحر اثناء عملية الدنترة

(Denitirification) و كبريتيد الهيدروجين نتيجة لاختزال الكبريت والهيدروكاريونات بسبب عمليات التخمر.

يكون ذوبان الاوكسجين في الماء ضعيفا (9 mg/l) عند درجة حرارة 20 مئوي لذا فان وفرته في البيئة المائية تعد عاملا محددا في تحديد المجتمع المايكروبي في الجسم المائي، وفرة الاوكسجين في البحيرات والبرك مرتبطة بقوة باوكسجين البناء الضوئي وكذلك وبصورة غير مباشرة مع اختراق الضوء، يكون تواجد الكائنات ذاتية التغذية مثل الطحالب محدداً بهذه المناطق حيث يكون الضوء قادرا على الاختراق.

يغيب الاوكسجين او يتوافر بتراكيز محدودة جدا في القاع حيث الاحياء المجهرية اللاهوائية مثل البكتريا المولدة للميثان (Methagonic bacteria) تكون متواجدة.

9. المواد العضوية:

هناك عامل اخر يؤثر في المجتمع المايكربي الا و هو المحتوى العضوي للمياه اذا كان كافيا فان نمو المحللات (Decomposers) يكون مشجعا الذي بدوره يستنفد الاوكسجين، وهذه ليست بالمشكلة المهمة في الانهار والجداول حيث التهوية الفيزيائية للمياه تؤمن اكسجة (Oxygenation) مستمرة.

تاتي المواد العضوية اما عن طريق افرازها من قبل الخلايا الحية او كنواتج للتحلل الذاتي لهذه الخلايا، و على اية حال فان الكمية العظمى من المركبات العضوية تدخل الى المياه من المجاري، تتواجد المركبات العضوية على شكل محاليل او معلقات (Suspensions)، بادىء ذي بدء تعد هذه المركبات غذاءً للبكتريا والفطريات مختلفة التغذية، الاحياء المجهرية المتواجدة على اسطح المعلقات وخاصة على دقائق فتات الصخور التي تمتز المواد العضوية من الماء تسمتع بهذه الظروف المفضلة للتغذية.

يتاثر التوافر والتغيير الايضي للاحياء المجهرية بالمحتوى السهل و المتوفر من المركبات العضوية (مثل الكربوهيدرات و الاحماض العضوية و البروتينات و الدهون) اكثر من عموم كمية المواد العضوية، اذ ان نفادها من الماء يحدث بسرعة كبيرة، عندما يحصل نقص في المواد العضوية فان البكتريا لا تصل الى احجامها الطبيعية كما ان معدلات انقسامها تنخفض كثيرا.

العوامل الحياتية:

تتولد الكثير من العلاقات المتبادلة بين افراد البيئة الحية (Biocenosis) و نتيجة لذلك فان الكائنات الحية اما ان يدعم احدها الاخر (تآزر Synergism) او ان يثبط احدها الاخر (تضاد Antagonism).

1. التنافس Competition:

الاحياء التي تجد وتتناول غذائها بكفاءة هي التي لها اليد الطولى في العيش، ففي اي موطن بيئي يزداد عدد الاحياء المجهرية بسرعة اذا كان غنيا بالمغذيات، مع انه في كثير من الحالات يزيد الانتاج الوفير من نواتج الايض (المثبطات) من عدد المنافسين و في بعض الاحيان يزيلهم نهائيا، تحصل هكذا اوضاع، مثلا، عندما يتغير الاس الهيدروجيني بجعل الوسط حامضيا و قاعديا و عندما تتحرر المضادات الحياتية.

2. التعاون Cooperation:

غالبا ما يلاحظ التعاون بين الكائنات عند التغذية و النمو فهو يسمح بظهور مزارع مايكروبية مختلطة، التكسير الحياتي (Biodegradation) عبارة عن عملية متعددة المراحل تحدث كمحصلة لعدة تفاعلات متعاقبة بوساطة احياء مجهرية متخصصة مختلفة، تمنع هذه العملية تجميع النواتج العرضية الايضية،

ونتيجة لهذا التعاون يصبح التكسير الحياتي لكثير من المركبات العضوية الثابتة (مثل اللكنين والسليلوز).

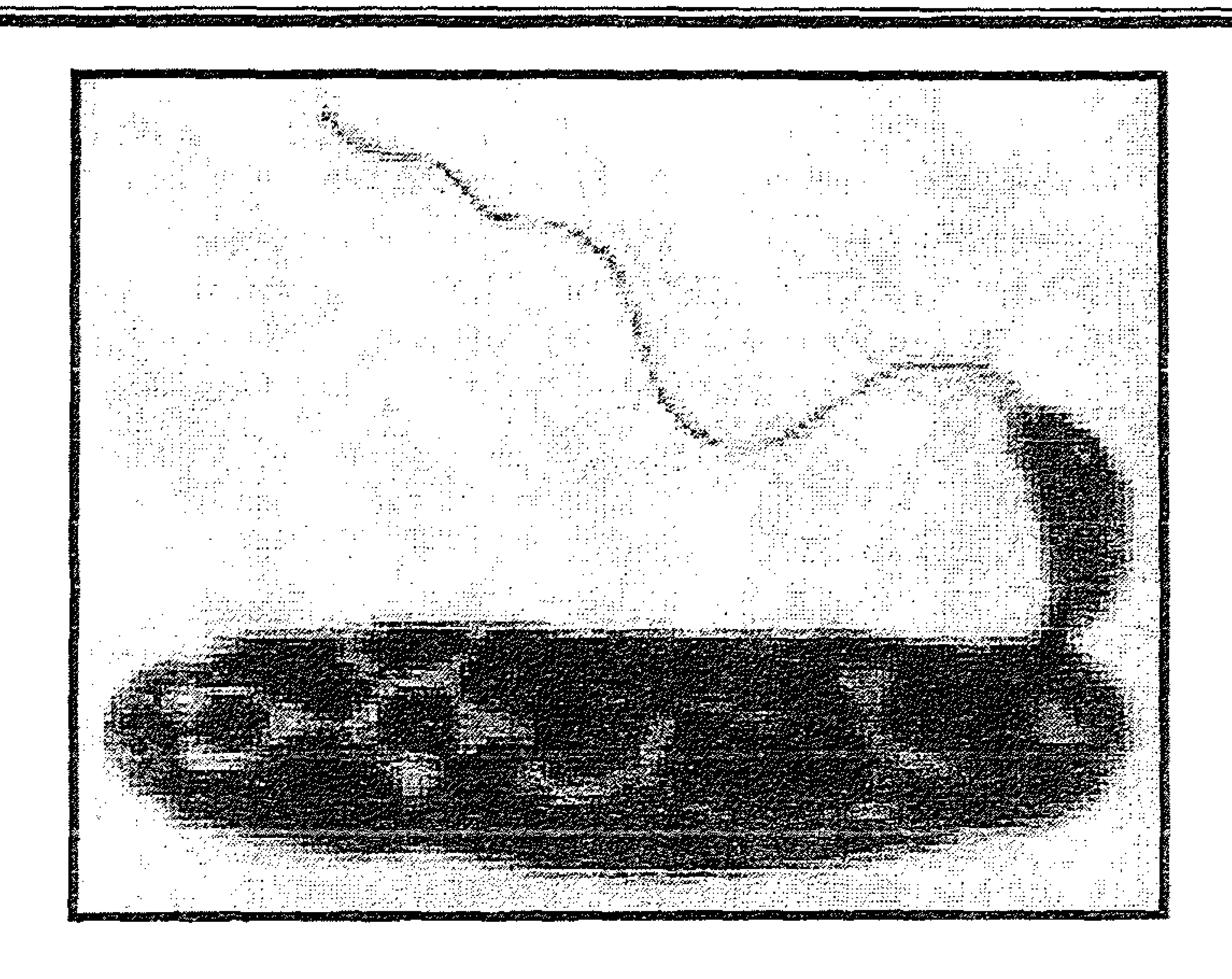
3. الافتراس Predation:

تعد البكتريا و الفطريات غذاءً للحيوانات الدنيا (Lower animals) وهذا هو السبب في تغاير اعدادها في مياه الخزانات، تتغذى معظم الابتدائيات على البكتريا، وثبت ان كتلتها الحياتية تزداد بزيادة اعداد البكتريا، كما ان الكثير من الكائنات متعددة الخلايا (Multicellular) مثل الاسفنجيات تستهلك البكتريا كغذاء، في رواسب القاع الكثير من الحيوانات تتغذى على الفطريات، في حين تعد السيانوبكتريا المتواجدة في القاع غالبا ما تؤكل من قبل turbellarians و الديدان الخيطية (Nematodes) و القشريات (Crustaceans) و يرقات الحشرات و الهائمات الحيوانية التي بدونها قد تحصل ظاهرة الاثراء الغذائي و اطلاق العديد من المركبات السامة في المياه.

4. التطفل Parsitism:

تُهاجم الاحياء المجهرية في المياه و تُحطم من قبل الفايروسات و البكتريا و الفطريات، فقد اثبت تواجد عاثيات البكتريا (Bacteriophages) في المياه داخل اليابسة و مياه البحر، وهي تكثر في مياه المجاري و ربما تكون السبب في النفاد السريع في اعداد البكتريا في مياه الانهار و البحيرات و الشواطئ الملوثة بمياه المجاري.

وهناك سبب اخر لقلة اعداد البكتريا يعزى الى تواجد البكتريا المنحنية المتطفلة التابعة الى الجنس Bdellovibrio (شكل1) تقوم بالتطفل على انواع بكتيرية اخرى و هي بكتريا سريعة الحركة بسوط قطبي واحد، سالبة لملون غرام، عصوية منحنية قليلا، عرضها 0.25 مايكروميتر و طولها 1 مايكروميتر تقريبا، تتطفل على بكتيريا E.coli و البكتريا السالبة لملون غرام الاخرى.



شكل (1): بكتريا Bdellovibrio تهاجم فريستها

وهـذه البكتريـا عنـدما تهـاجم فريـستها تـضربها بـشدة الى درجـة ازاحتهـا مـسافة قليلـة و مـن ثـم تلتـصق بهـا و تـدور بحركـة لولبيـة، و في الوقـت نفـسه تنـتج انزيمات هاضمة تكسر الدهون و طبقة الببتيدوجلايكان و خلال عشرة دقائق تحدث ثقبا في جدار الخلية المضيفة مما يسمح لها باختراقها الفريسة و الولوج الى الفراغ المحيط بالبلازما (Periplasmic space) بين طبقـة الببتيـدوجلايكان و الغـشاء الـسايتوبلازمي و بعـد مـضي عـدة سـاعات تبـدأ بكتريـا Bdellovibrio باسـتهلاك المحتويات الخلوية للمضيف، تحصل على الطاقة من الاكسدة الهوائية الاحماض الامينية و الخلات (Acetate) ثم يزداد طولها ما دامت مستقرة في الفراغ المحيط بالبلازما و بالنهاية تنقسم الى عدة خلايا بنوية متحركة، و عندما تتحلل الخلية المضيفة تنطلق ذرية بكتريا Bdellovibrio لتبحث لها على فريسة اخرى.

- **المجموعات الرئيسية للاحياء المجهرية في المياه:**

ان الاحياء المجهرية الموجودة في الماء تعد الى مجموعات مختلفة، ويمكن ان تدرج تحت المجاميع التالية:

اولا: البكتريا:

البكتريا كائنات بدائية النواة بسيطة التركيب وحيدة الخلية تتراوح اقطارها من 0.1 الى 15 مايكروميتر قد تكون عصوية او كروية او حلزونية، اغلب بكتريا المياه تكون نشطة و متحركة بوساطة اسواط (Flagella) مثل بكتريا Vibrio و بكتريا Pseudomonas او تسبح بحرية في الماء (الهائمات البكتيرية).

تنتشر هذه الكائنات في الطبيعة بشكل واسع فهي تتواجد في المياه و التربة و المواد العضوية و على الاجسام الحية للنباتات و الحيوانات، ولها مدى متنوع من المتطلبات التغذوية فهي قد تكون ذاتية او متطفلة او رمية التغذية.

معظم البكتريا غير ضار و هي تستوطن جسم الانسان و خصوصا الجهاز الهظمي، و تتكاثر لاجنسيا بالانشطار البسيط، و قد تتواجد على هيئة خلايا مفردة او سلاسل و عناقيد او خيوط، تتخذ بكتريا المياه اشكالا اخرى مختلفة كأن تكون نجمية او صفائحية او مغزلية.

بالاضافة الى شكل الخلايا البكتيرية و استجابتها الى ملون غرام تعد استجابتها الى الاوكسجين الجزيئي من اهم الصفات التصنيفية و التشخيصية لها، و هناك ثلاث مجاميع رئيسة من البكتريا حسب استجابتها للاوكسجين:

1. البكتريا الهوائية: لا تتمكن من العيش الا بوجود الاوكسجين الجزيئي.
2. البكتريا اللاهوائية: لا تستطيع ان تستغل الاوكسجين الحر في فعالياتها الخلوية، وهي على نوعين متحملة للاوكسجين يمكنها العيش بوجود الاوكسجين الجزيئي الحر ولكنها لا تستطيع ان تقوم بفعالياته الحياتية بصورة كاملة و فاعلة، و اخرى غير متحملة للاوكسجين التي تموت بمجرد التعرض له.
3. البكتريا اللاهوائية اختيارا: هذه المجموعة يمكنها ان تؤدي وظائفها الخلوية بوجود او بغياب الاوكسجين و هي تفضل العيش بوجود الاوكسجين ولكنها تتمكن من استغلال المركبات الاخرى مثل النترات و الكبريتات و المواد العضوية لاداء فعالياتها المختلفة .

او من الممكن تقسيم بكتريا المياه الى:

- البكتريا المقيمة (Autochthonous): وهي البكتريا التي تتواجد باستمرار في الموطن المائي.
- البكتريا الدخيلة او الغريبة (Allochthonous): و هي البكتريا القادمة من بيئات اخرى مثل التربة او الهواء او تلك القادمة الى الاحواض من المجاري الصناعية و البلدية.

1. البكتريا المقيمة:

وتشمل البكتريا ضوئية التغذية الذاتية (Photoautotroph) و كيميائية التغذية الذاتية (Chemoautotrophs) وكيميائية عضوية التغذية الذاتية (Chemoorganoautotrophs).

- **بكتريا البناء الضوئي (Photoautotroph):**

يجرى البناء الضوئي في البكتريا بشكل مختلف قليلا عن البناء الضوئي في النباتات، والجزء الاكثر اهمية انها عملية خالية من الاوكسجين (Anoxygenic) وتتطلب وجود مركبات معدنية مخْتَزلة و لا يرافقها تحرير الاوكسجين بل تنتج مركبات عضوية او غير عضوية مؤكْسَدة، تصنف صبغات البكتريا التمثيلية حسب قدرتها على امتصاص الاشعة تحت الحمراء التي لا تمتص من قبل النباتات الخضراء.

يتم البناء الضوئي في المياه السطحية بشكل رئيس من قبل الطحالب و النباتات، بينما يكون دور البناء الضوئي البكتيري اقل اهمية.

من بين الافراد ذاتية التغذية التي لها القدرة على القيام بالبناء الضوئي، البكتريا الارجوانية (Purple bacteria) والخضراء (Green bacteria) و اخرى غيرها:

اولا: البكتريا الارجوانية:

بكتريا سالبة للون غرام تظهر حمراء او برتقالية او ارجوانية نتيجة للصبغات المقتنصة للضوء، بخلاف بقية ضوئية التغذية اللاوكسجينية يكون جهاز التركيب الضوئي بالكامل موجودا داخل الخلية،الانبعاجات في الغشاء السايتوبلازمي تزيد بشكل فاعل من المساحة السطحية المعرضة للبناء الضوئي.

تقسم هذه المجموعة الى قسمين بكتريا الكبريت الارجوانية (Purple sulfur bacteria) والبكتريا الارجوانية غير الكبريتية (Purple nonsulfur bacteria).

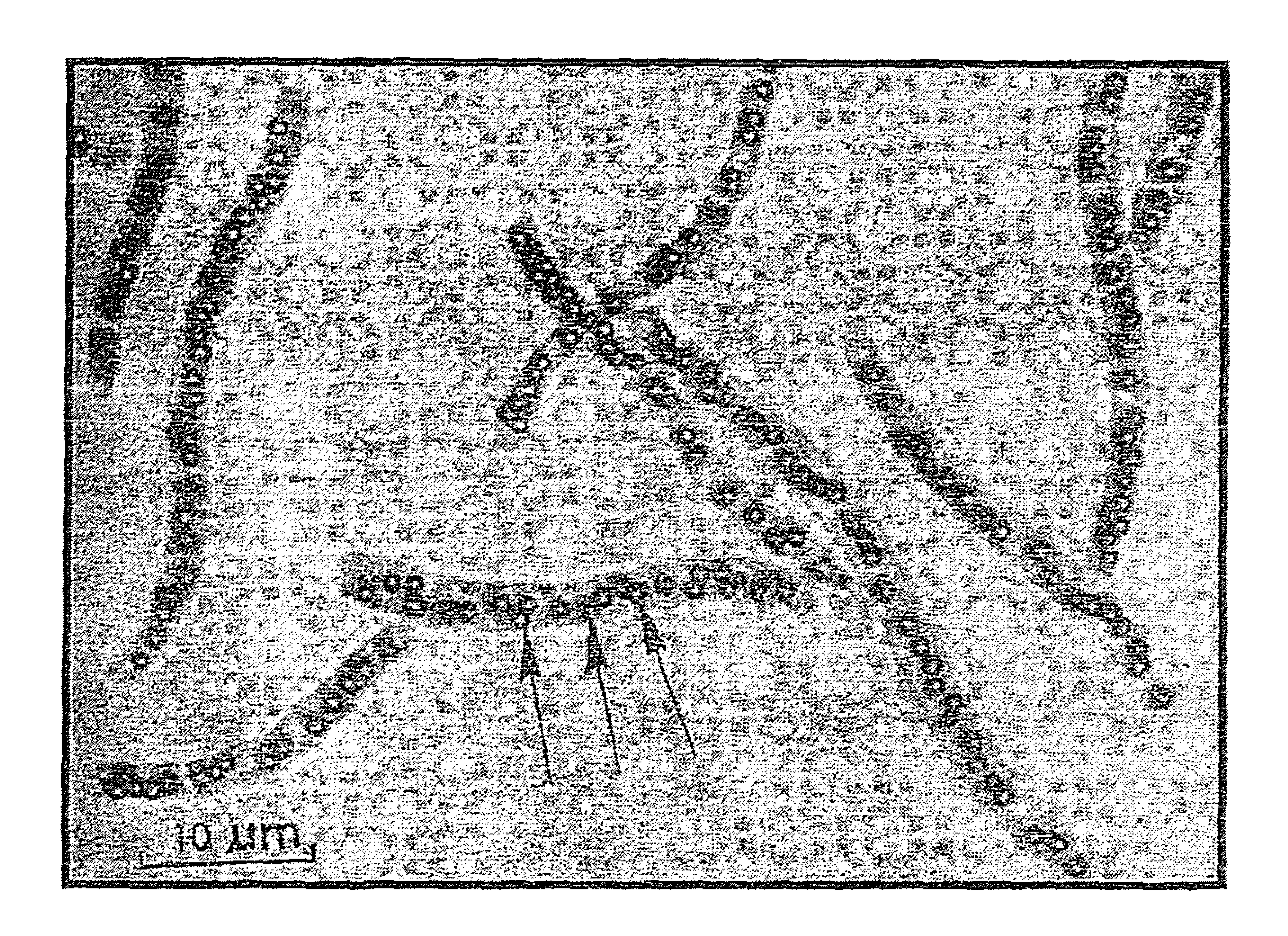
1. **بكتريا الكبريت الارجوانية:**

(Chromatiaceae and Echtothiorhodaceae)

تنمو هذه المجموعة احيانا على شكل كتل ملونة في البيئات الغنية بالكبريت مثل الينابيع الكبريتية، خلاياها كبيرة الحجم نسبيا احيانا يتجاوز قطرها 5 مايكروميتر، البعض منها يتحرك بالاسواط و قد تحتوي على حويصلات غازية (Gas vesicles) تمكنها من الصعود و النزول الى المستوى الذي تفضله في عمود الماء. معظمها يجمع الكبريت في حبيبات مرئية مجهريا (انظر شكل 2).

تستخدم بكتريا الكبريت الارجوانية كبريتيد الهايدروجين لانتاج طاقة الاختزال، على الرغم من بعض انواعها يستهلك الجزيئات اللاعضوية مثل الهيدروجين و المركبات العضوية مثل البايروفيت (Pyruvate)، اغلب الانواع لاهوائية اجبارا ضوئية التغذية و لكن بعض الانواع تتمكن من النمو بغياب الضوء

هوائيا مؤكسدة المركبات العضوية او اللاعضوية المختزلة كمصادر للطاقة .ومن الاجناس الممثلة لهذه المجموعة هي و Chromatium و Thiospirillum و Thiodictyon.



شكل (2): بكتريا الكبريت الارجوانية Thiospirillum jenense يلاحظ حبيبات الكبريت داخل الخلايا (الاسهم)

2. البكتريا الارجوانية غير الكبريتية (Rhodospirillaceae):

تنتشر في مدى واسع من البيئات المائية بضمنها الترب الرطبة و مستنقعات حقول الرز، هناك صفة مهمة واحدة تميزها عن بكتريا الكبريت الارجوانية وهي انها تفضل استهلاك مجموعة متنوعة من الجزيئات العضوية غير كبريتيد الهيدروجين كمصدر للالكترونات لغرض الاختزال فضلا عن فقدانها لحويصلات الغاز، واذا تجمع الكبريت فانه يتجمع خارج الخلايا.

هذه المجموعة متنوعة الايض بشكل ملحوظ ليس فقط نموها كضوئية التغذية مستهلكة المواد العضوية للاختزال، و لكن قسم كبير منها يستطيع استخدام ايض مشابه لايض بكتريا الكبريت الارجوانية موظفة غاز الهيدروجين او كبريتيد الهيدروجين كمصادر للطاقة، فضلا عن انها تنمو هوائيا بغياب الضوء مستخدمة الايض كيميائي التغذية، الاجناس الممثلة لها تتضمن Rhodobacter و Rhodopseudomonas.

ثانياً: البكتريا الخضراء:

بكتريا سالبة للون غرام ذات لون اخضر او بني بخلاف البكتريا الارجوانية فان صبغاتها الجامعة للضوء تقع في تراكيب تسمى الاجسام الخضر (Chlorosomes) و لا يحتوي غشاؤها السايتوبلازمي على انبعاجات شديدة. و هي على نوعين بكتريا الكبريت الخضراء (Green sulfur bacteria) والبكتريا الخضراء غير الكبريتية (Green nonsulfur bacteria).

1. بكتريا الكبريت الخضراء (Chlorobiaceae):

بكتريا لاهوائية اجبارا لا تستطيع استخدام الايض كيميائي التغذية، تتواجد في الاماكن ذاتها التي تفضلها بكتريا الكبريت الارجوانية ،وهي ايضا تستخدم كبريتيد الهيدروجين كمصدر للالكترونات لغرض الاختزال و تكوّن حبيبات الكبريت خارج الخلية، هذه المجموعة فاقدة للاسواط و لكن الكثير منها يحتوي على حويصلات غازية، تتمثل بالاجناس Chlorobium و Pelodictyon.

2. البكتريا الخضراءغير الكبريتية (Chloroflexaceae):

تتميز هذه البكتريا بشكلها الخيطي تستغل المركبات العضوية لتوليد الطاقة او قد تستخدم غاز الهيدروجين او كبريتيد الهيدروجين كبديل فضلا عن انها تستطيع النمو في الظلام هوائيا مستخدمة الايض كيميائي التغذية

(Chemotrophic metabolism)، الجنس الوحيد الذي تم تنميته في المختبر في مزارع نقية هو Chloroflexus.

ثالثاً: اخرى:

في حين ان البكتريا الارجوانية و البكتريا الخضراء قد درستا بشكل واف، فان الانواع اللااوكسجينية الاخرى التي اكتشفت مؤخرا لم تدرس بالتفصيل بعد، و منها الجنس Heliobacterium وهي بكتريا عصوية موجبة للون غرام، مكونة للسبورات الداخلية قريبة من افراد الجنس Clostridium.

- **بكتريا كيميائية ذاتية التغذية (Chemoautotrophs):**

تحصل هذه البكتريا على الطاقة من عمليات الاكسدة للمواد غير العضوية و اعتمادا على طبيعة المادة الاساس المؤكْسَدة من الممكن تمييز الانواع البكتيرية الاتية: بكتريا النترتة (Nitirifying bacteria) وبكتريا الحديد (Ferruginous bacteria) وبكتريا الكبريت (Sulfur bacteria) و بكتريا الهيدروجين (Hydrogen bacteria).

- **بكتريا النترتة:**

لهذه البكتريا دور مهم في المياه السطحية و هو اكسدة الامونيا الى النتريت و تقوم بها الاجناس Nitrosomonas و Nitrosococcus حسب المعادلة الاتية:

$$NH_3 + O_2 \rightarrow NO_2^- + 3H^+ + 2e^-$$

ومن ثم تقوم الاجناس Nitrobacter و Nitrococcus باكسدة النتريت الى نترات حسب المعادلة الاتية:

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2e^-$$

وعند التراكيز العالية تكون هذه المواد مضرة للاحياء المائية و الانسان (في حالة استخدام هذه المياه في انظمة تجهيز مياه الشرب) فقد يؤدي التسمم بالنترات الى الموت، و من جهة اخرى يعد انتاج النترات عملية اساسية و مهمة تزود النبات بمصدر للنتروجين.

❖ **بكتريا الحديد:**

تنمو هذه البكتريا في المياه عندما يتراوح محتواها من الحديد ثنائي التكافؤ بين 0.15 الى 8.5 ملغم لكل ديسيمتر مكعب، من اهم التاثيرات السلبية لهذه البكتريا هي التآكل (Corrosion) والتسبب بالرائحة الكريهة لانابيب المياه و المجاري و الهياكل المعدينة المختلفة، ان الانواع الاكثر شيوعا لبكتريا الحديد هي بكتريا Leptothrix ochracea و بكتريا Crenothrix polyspora وكلتاهما من البكتريا الخيطية المفردة المحاطة بغلاف هلامي مختلف السمك، تغير المواد الحديدية المخزونة في الخلايا من لون خيوط الخلايا الى اللون الاصفر او البني الداكن، يشيع وجود بكتريا الحديد في الاجسام المائية العذبة و خصوصا مياه الابار و العيون التي من الممكن مشاهدة تجمعاتها بالعين المجردة في حين تتواجد بغزارة في الجداول الموحلة و الاهوار و البرك.

❖ **بكتريا الكبريت:**

تتواجد بصورة رئيسة في المياه الحاوية على كبريتيد الهيدروجين الذي يعد مادة سامة للكثير من الاحياء المجهرية، اما بالنسبة لهذه المجموعة فيعد احد المركبات المهمة للعيش، من الممكن ان نجد هذه البكتريا في الينابيع المعدنية الحاوية على كبريتيد الهيدروجين من اصل جيولوجين، و كذلك في المياه عالية التلوث حيث يتكون نتيجةً لعملية تحلل البروتين اللاهوائية او عملية اختزال الكبريت، الانواع النموذجية المثلة لبكتريا الكبريت هي تلك المتحركة انزلاقا (Gliding)

مثل بكتريا Beggiatoa alba و بكتريا Thiothrix nivea الدائمة التواجد في القاع فضلا عن الانواع الاتية:

- بكتريا Thiobacillus thioparus التي تخزن الكبريت من اكسدة الثايوسلفات.
- بكتريا Thiobacillus thiooxidans التي تنمو في البيئات الحامضية pH 1.0 – 4.0.
- بكتريا Thiobacillus ferroxidans تمتلك هذه البكتريا المقدرة على تحليل الثايوسلفات و التتراثايونان، فضلا عن املاح الحديد.
- بكتريا Thiobacillus denitrificans اللاهوائية لها القدرة على استهلاك النترات كمستقبل للالكترون اثناء عملية اكسدة كبريتيد الهيدروجين. و عند الظروف الهوائية تنجز هذه العملية بوجود الاوكسجين.

❖ بكتريا الهيدروجين:

تمتلك القدرة على اكسدة الهيدروجين باستخدام الاوكسجين كمستقبل نهائي للالكترونات. وفي اغلب الاحيان تكون مختلفة التغذية ثم تتحول الى ذاتية التغذية عند تواجد الهيدروجين في الموطن البيئي، النوع الاكثر انتشارا يعود الى الجنس Hydrogenomonas وهناك ايضا البكتريا Micrococcus denitrificans التي تقوم باكسدة الهيدروجين و في ذات الوقت تختزل النترات وصولا الى النتروجين الجزيئي، كما تقوم البكتريا Desulfovibrio desulfuricans بأكسدة الهيدروجين و اختزال الكبريتات وصولا الى كبريتيد الهيدروجين.

بعض انواع الجنس Aquifex المحبة للحرارة العالية تقوم باكسدة الهيدروجين ايضا في البيئات التي تصل درجة الحرارة فيها الى 95 درجة مئوية.

❖ **البكتريا مختلفة التغذية (Chemoorganotrophs):**

القسم الاكثر سيادة من البكتريا المقيمة المتوافرة في احواض المياه هو البكتريا كيمائية عضوية التغذية التي تعود الى مجموعة رمية التغذية (Saprophytes) المتغذية على النباتات الميتة و المادة العضوية الحيوانية.

البكتريا الهائمة النموذجية التي تشغل كتلة المياه باجمعها هي البكتريا العصوية المسوطة السالبة للون غرام المتمثلة بالاجناس: Pseudomonas و Achromobacter و Alcaligenes و Vibrio و Aeromonas و كذلك المكورات الموجبة للون غرام العائدة للجنس Micrococcus و الجنس Treponema و الجنس Spirillum .

اجزاء النباتات الراقية المغمورة تحت الماء والدقائق المتواجدة دوما تحت الماء عادة ما تستوطن باعداد هائلة من البكتريا الشبيهه بالساق مثل الجنس Caulobacter والبكتريا المغلفة و البكتريا الخيطية و الجنس Hyphomicrobium. الاحياء التي تنمو عادة في رواسب القاع تكون بكتريا التعفن اللاهوائية و البكتريا المحللة للسليلوز اللاهوائية و كيميائية التغذية اللاهوائية مثل الجنس Desulfovibrio الذي يختزل الكبريتات الى كبريتيد الهيدروجين، فضلا عن وجود البكتريا المولدة للميثان بوساطة اختزال المركبات العضوية.

2. البكتريا الدخيلة:

المياه ذات الخصوبة العالية و كذلك المياه عالية التلوث تزدحم بالبكتريا رمية التغذية و البكتريا المتطفلة والتي من بينها الانواع السائدة الاتية: عصيات القولون السالبة للون غرام Escherichia coli و كذلك الاجناس Proteus و Klebsiella و Enterobacter، فضلا عن عصيات Pseudomonas aeruginosa و عصيات الجنس Arthrobacter، كما تتواجد العصيات الموجبة

للون غرام العائدة للاجناس Bacillus و Corynebacterium و Clostridium التي تُغْسَل الى المياه قادمةً من التربة اثناء هطول الامطار الثقيلة.

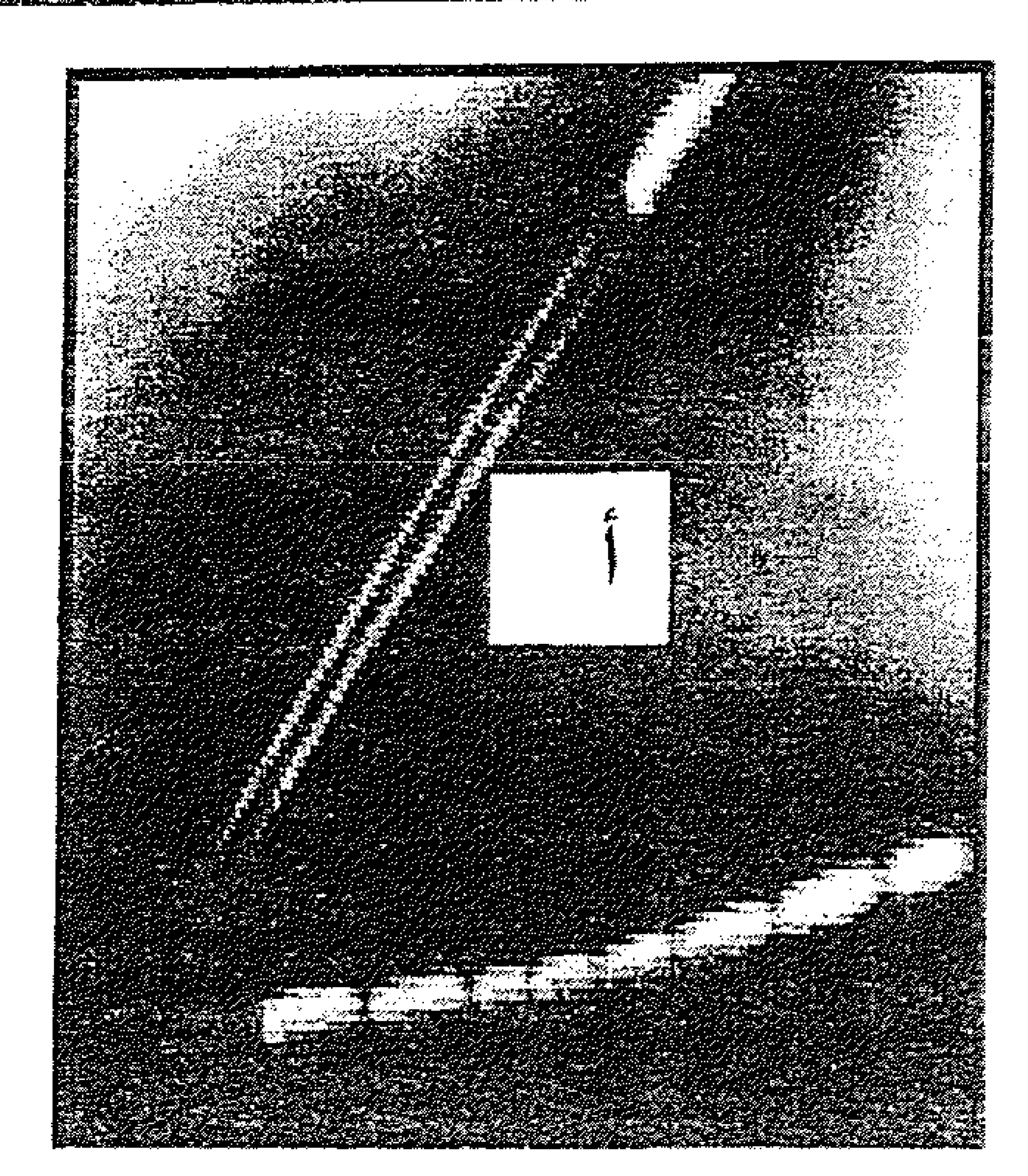
تعد نفايات البلدية المصدر الاساس للبكتريا المرضة اثناء عمليات الترشيح و الغسل حيث تجد بكتريا التربة طريقها الى المياه علاوة على دور الهواء الفعال في تلوث المياه في مناطق المدن ذات الكثافة السكانية الهائلة و المناطق الصناعية.

❖ بكتريا المياه الفقيرة بالمواد المغذية Oligotrophic water bacteria

في المياه الفقيرة بالمواد المغذية، تتخذ البكتريا المحبة للتغذية القليلة (Oligotrophic bacteria) اشكالا متناهية في الصغر (Microforms) باقطار تتراوح من 0.4 الى اقل من 1.0 مايكروميتر، و هي نادرا ما تتضاعف اذ يتراوح زمن الجيل لديها من عشرات الساعات الى 200 ساعة، تسود البكتريا في المياه الملوثة و تكون نسبة العصويات الى المكورات حوالي 1:90، اما في المياه النظيفة (غير الملوثة) مثل الانهار و الجداول فتكون حاوية على فلورا مجهرية قليلة و تكون نسبة العصويات الى المكورات تقريبا 1.5:1 مما يدل على سيادة المكورات.

طورت بكتريا المياه الفقيرة بالمغذيات عدة اليات مكنتها من اقتناص والاحتفاظ الحد الاقصى من المغذيات المتوافرة مثل تجميعها داخل انابيب او اغماد (Sheaths) توفر لها الحماية من المفترسات فضلا عن الالتصاق بالاماكن ذات الظروف المثلى، من هذه الانواع البكتيرية مثل Sphaerotilus و Leptothrix (انظر شكل 3) التي تميل الى تكوين سلاسل من الخلايا المغلفة داخل هذه الاغماد، تنشر هذه البكتريا نفسها من خلال تكوين خلايا سابحة (Swarmer) ذات سوط قطبي تخرج من الجزء غير الملتصق من الغمد، تنتقل هذه الخلايا الى سطوح صلبة جديدة حيث تلتصق و اذا توافرت مغذيات كافية فانها تتكاثر مكونة غمدا جديدا الذي يستطيل كلما نمت سلسلة الخلايا.





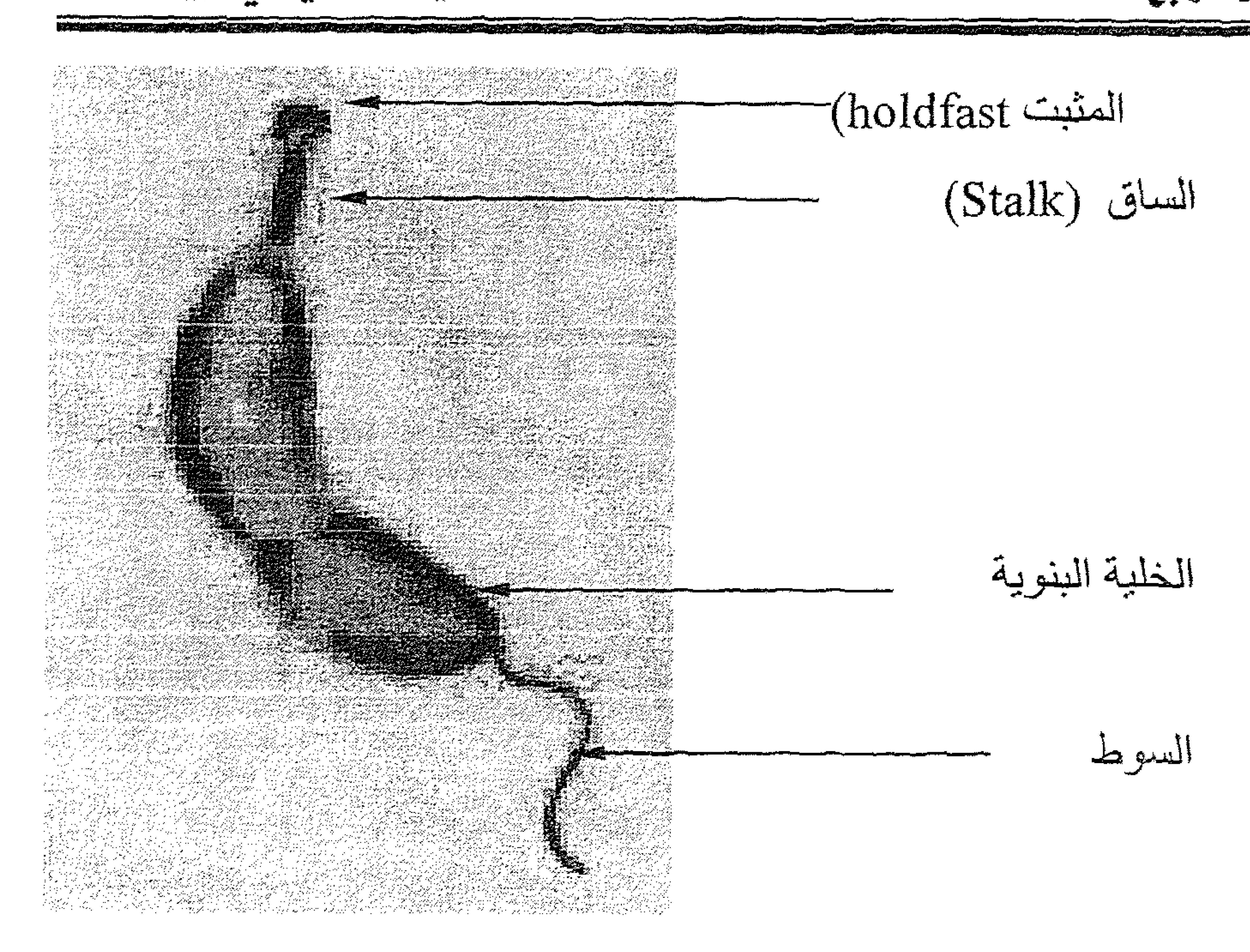
شكل (3): بكتريا المياه الفقيرة بالمغذيات

أ. Sphaerotilus sp ب.Leptothrix sp.

او تكون لواحق تسمى (Prosthecae) و التي هي امتدادات من السايتوبلازم و الجدار الخلوي تزيد من المساحة السطحية، و بالتالي تسهل عملية امتصاص المغذيات التي تزودها بها بقية الاحياء المجهرية، كما تساعدها في الالتصاق على السطوح الصلبة ايضا، تعد بكتريا Caulobacter احد الاجناس المكونة لهذه اللواحق الى جانب الجنس Hyphomicrobium.

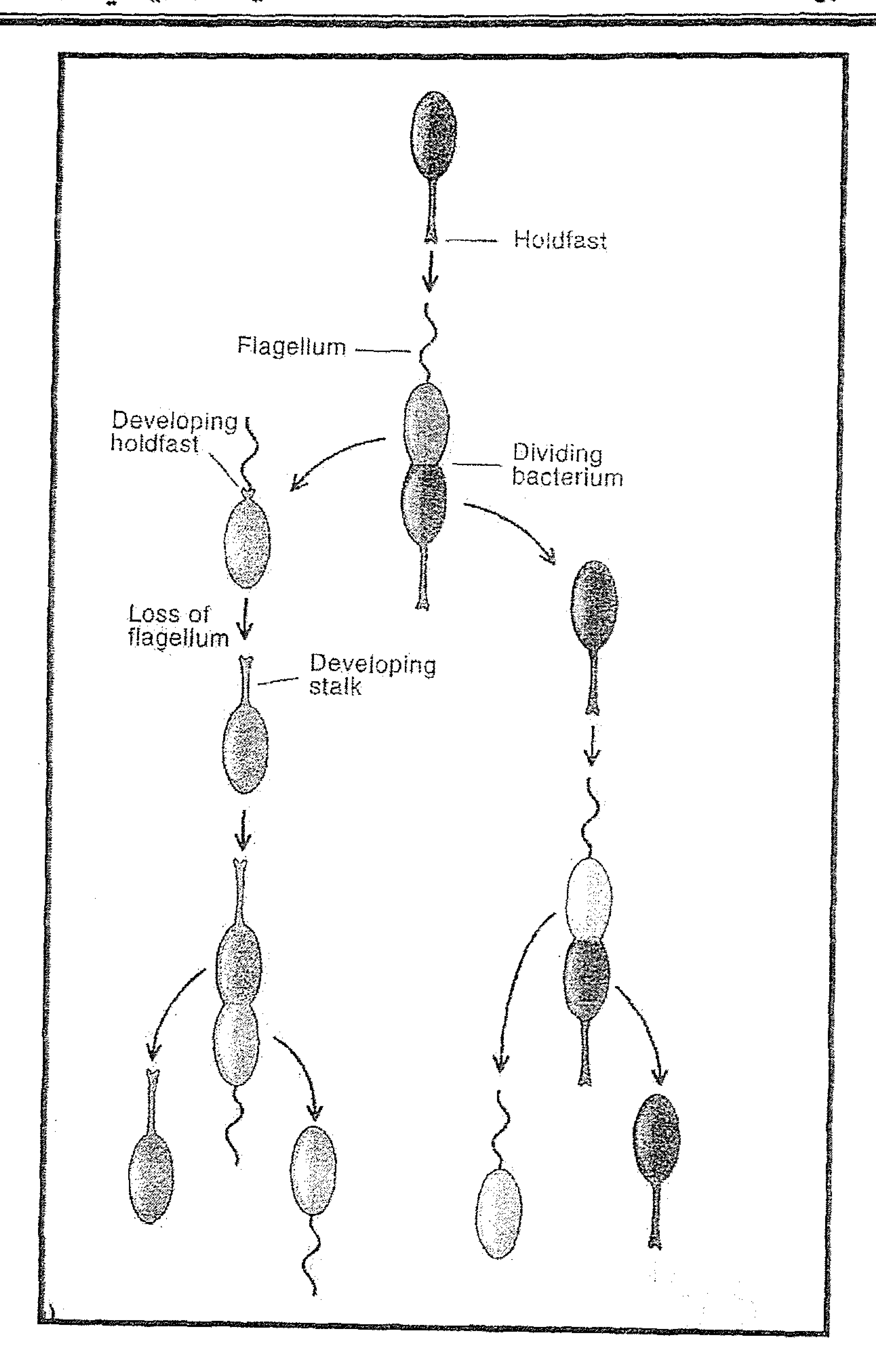
الجنس **Caulobacter**:

تمتلك خلايا هذا الجنس لاحقة قطبية واحدة تدعى الساق (Stalk) (انظر شكل رقم 4) الذي ينتهي بطرف لاصق يسمى القبضة او المثبت (Holdfast) المسؤول عن الالتصاق.



شكل (4) : بكتريا Caulobacter

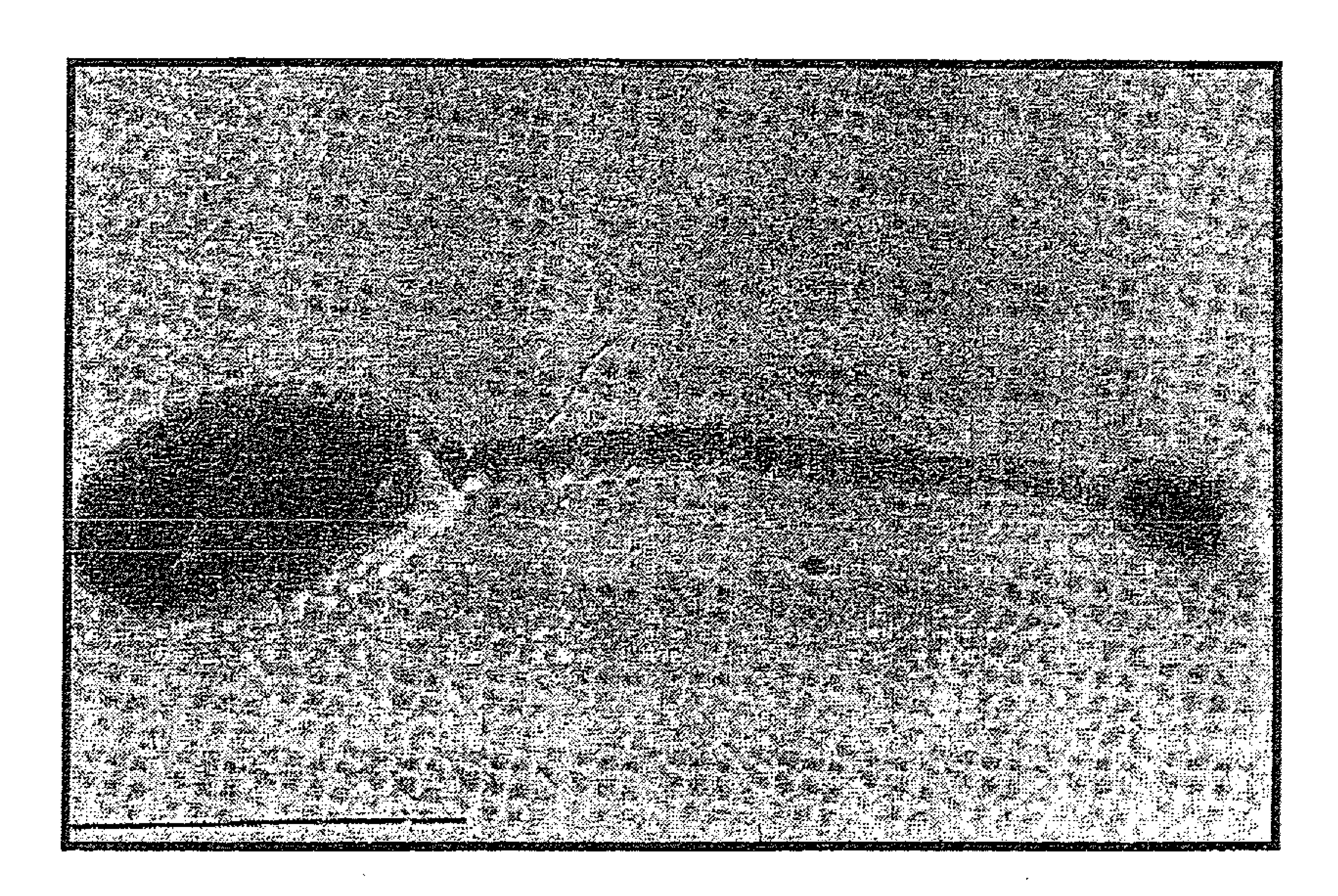
ولكي تتكاثر هذه البكتريا تتطاول من الطرف المقابل للساق و تنقسم بالانشطار البسيط مكونة خلية سابحة (Swarmer) متحركة بسوط قطبي واحد يقع في الطرف المقابل لموقع الانقسام، تنفصل هذه الخلية و تنتقل الى موقع اخر حيث تلتصق بوساطة المثبت عند قاعدة السوط ثم تفقد سوطها فيما بعد مستبدلة اياه بالساق و هنا فقط تستطيع الخلية البنوية ان تضاعف الدنا الخاص بها و تعيد الدورة من جديد (انظر الشكل 5).



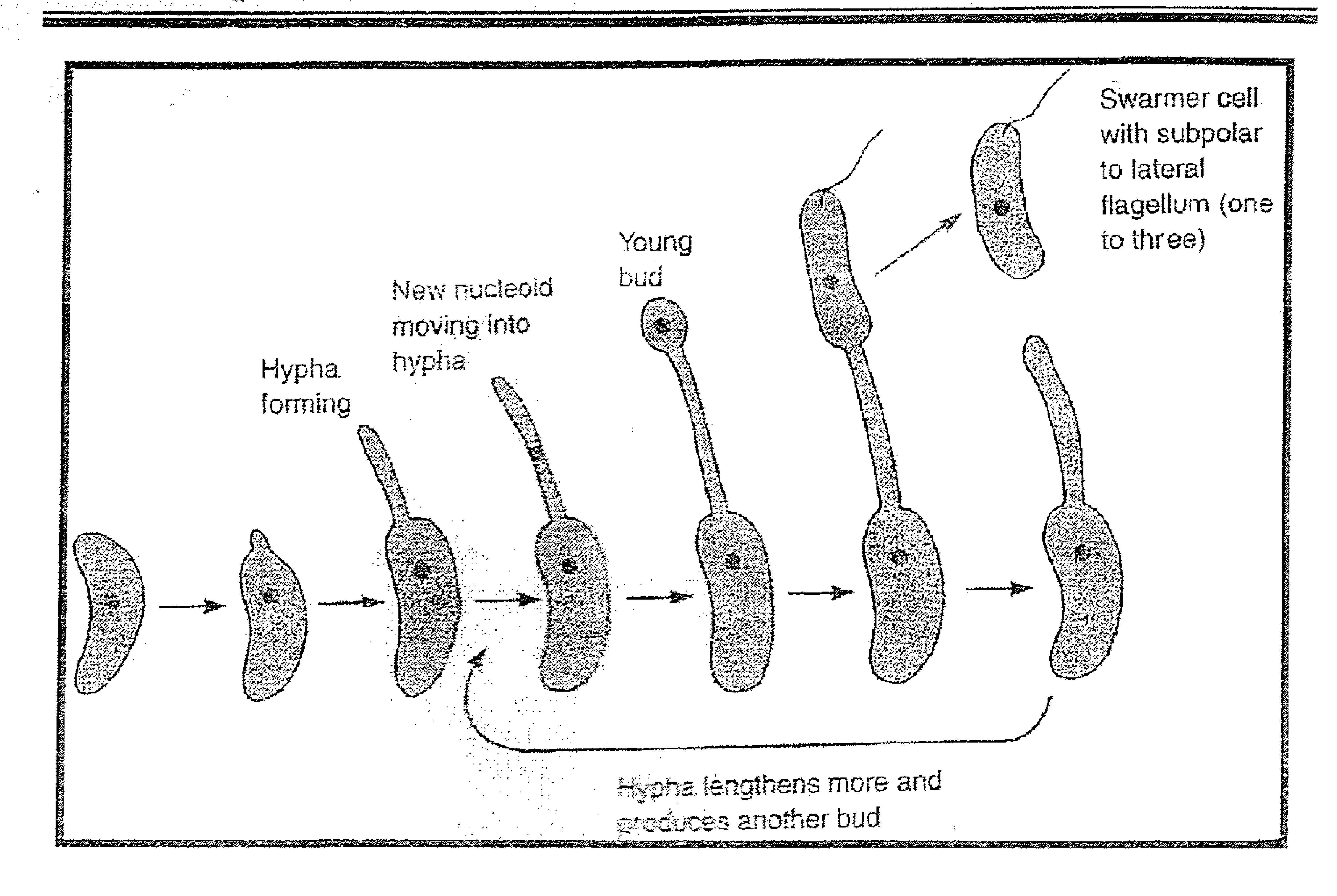
شكل (5): دورة حياة الجنس Caulobacter

الجنس Hyphomicrobium:

تشبه انواع هذ الجنس (شكل 6) الى حد ما انواع الجنس Caulobacter من نواح عدة عدا ان لها (اي انواع Hyphomicrobium) دورة حياة مختلفة، اللاحقة المفردة القطبية للخلية الام تتضخم من الطرف البعيد مكونة برعما، الذي يستمر بالتضخم الى ان يكون سوطا و بالنهاية الى خلية بنوية متحركة تنفصل وتنتقل الى موقع اخر و من ثم تفقد سوطها مكونة لاحقة قطبية في الطرف المقابل لتعيد الدورة من جديد (شكل رقم 7).



شكل (6): الجنس Hyphomicrobium



شكل (7): دورة حياة الجنس Hyphomicrobium

البكتريا المتألقة (المضيئة) Bioluminescent bacteria:

تتمكن بعض انواع بكتريا Photobacterium و Vibrio (و هي عصيات سالبة للون غرام، متحركة بسوط قطبي واحد، لاهوائية اختيارا، تعيش في البيئة البحرية المالحة) من ان تشع او تتالق بظاهرة تدعى التالق الحياتي (Bioluminescent) التي تلعب دورا مهما في العلاقة التعايشية بين بعض انواع البكتريا و انواع خاصة من الاسماك و الحبار (Squid)، مثلا تمتلك بعض انواع الحبار عضو متخصص داخل كيس الحبر و الذي يستوطن بالبكتريا Vibrio fischeri، يعتقد ان الضوء المنتج يساعد المحار على جذب الفريسة او تجنب مفترس او لايجاد شريك والمحار من جهته يوفر المغذيات للبكتريا.

تتحفز عملية الاضاءة بوساطة الانزيم Luciferase واثبتت الدراسات ان الجين الذي يشفر له لا يعمل الا عندما تصل اعداد البكتريا الى كثافة معينة اي ان البكتريا تدرك او تحس "sensing" ان اعدادها وصلت الى الكثافة المطلوبة، عرفت هذه الظاهرة بظاهرة ادراك النصاب (Quorum sensing).

ثانياً: الفطريات:

تتواجد الفطريات على شكلين اساسيين الخمائر (Yeasts) و الاعفان (Molds)، والاخيرة تتميز بانتاجها لمستعمرات خيطية متعددة الخلايا، تتكون هذه المستعمرات من نبيبات متفرعة اسطوانية الشكل تدعى الخيوط الفطرية (Hyphae) متغايرة القطر من 2 – 10 مايكروميتر، تؤلف هذه الخيوط بمجموعها ما يسمى بالغزل الفطري (Mycelium)، تنقسم بعض الخيوط الفطرية الى خلايا بوساطة جدران عرضية او حواجز (Septa) تتكون عند مسافات متساوية اثناء نمو الخيوط الفطرية، و هناك مجموعة واحدة مهمة طبيا وهي مجموعة (Zygomycetes) تكون خيوط فطرية نادرا ما تكون مقسمة بحواجز.

اما الخمائر فهي خلايا مفردة كروية الشكل عادة او متطاولة (Ellipsoid) متغايرة القطر من 3 الى 15 مايكروميتر، يتكاثر معظم الخمائر بالتبرعم (Budding)، تكون بعض الانواع براعما تفشل في الانفصال عن الخلية الام و تتطاول ثم تنتج براعما غيرها الى ان تكون سلسلة من الخلايا تسمى الخيوط الفطرية الكاذبة (Pseudohyphae).

مقارنة مع البكتريا التي تنمو جيدا في المياه ذات الاس الهيدروجيني من 6 الى 8 فأن الفطريات تتواجد في المياه ذات قيم اس هيدروجيني اقل من 6، عادة تتواجد الفطريات في المياه الضحلة على السطح او تحته مباشرة الامر الذي له ارتباط وثيق بحقيقة ان هذه الكائنات تتطلب وجود كميات عالية من الاوكسجين.

تقريبا الفطريات جميعها مختلفة التغذية تقوم بتحليل المادة العضوية؛ تشغل المياه بالفطريات رمية التغذية و المتطفلة التي تستوطن نباتات وحيوانات المياه، تتخذ اشكالا ذات تنوع اكثر من البكتريا كما انها تتمايز الى خلايا اكبر ذات تراكيب اكثر تعقيدا فضلا عن الفطريات

وحيدة الخلية (Unicellular fungi) هناك الفطريات متعددة الخلايا (Multicellularfungi) المكونة للغزول الفطرية (mycelia) الكبيرة.

تنقسم الفطريات الى اربعة شعب وهي: Zygomycota و Ascomycota و Basidiomycota و Deuteromycota، صنفت الشعب الثلاث الاولى اعتمادا على طريقة التكاثر الجنسي في حين الشعبة الاخيرة والتي تسمى ايضا الفطريات الناقصة (Fungi imperfecti) لم يلاحظ فيها التكاثر الجنسي لذا جمعت معا، و اذا اجريت فحوص اضافية مثل تحليل الرنا الرايبوسومي (rRNA analysis) فان اغلب الفطريات الناقصة سوف يضم اما الى Ascomycota اوBasidiomycota.

تمثل الشعبة Ascomycota الشعبة الاكبر و تشمل اكثر من 60 ٪ من الفطريات المعروفة و حوالي 85 ٪ من الفطريات المرضة للانسان، و تعود بقية الفطريات اما الى zygomycetes او الى basidiomycetes.

تتمثل الفطريات السائدة في البيئات المائية بالاعفان التابعة للصنف OOmycota مثل الجنس Leptomitus و الجنس Phytophthrora والصنف Zygomycota الممثل بالجنس Mucor والجنس Rhizopus، في حين تتواجد الفطريات العائدة للصنف Ascomycota وكذلك الصنف Deuteromycota بشكل متكرر نسبيا في المياه السطحية.

لا تتواجد الفطريات في المياه النظيفة (غير الملوثة) و لكنها تنمو بغزارة في قاع المياه الملوثة بالمجاري مثل النوع Leptomitus lacteus.

ثالثاً: السيانوبكتريا:

سابقا كانت هذه المجموعة من الاحياء تصنف ضمن الطحالب تحت اسم الطحالب الخضر المزرقة،اما في الوقت الحاضر فانها تصنف ضمن مملكة بدائية

النــواة (Prokarytoa kingdom) و تحــت المملكــة البكتريــا الحقيقيــة (Eubacteria subkingdom).

تتصف هذه المجموعة بكونها سالبة للون غرام بدائية النواة تتواجد على شكل مستعمرات (خلايا مفككة ترتبط معا بغلاف مخاطي) او تكون خيطية الاشكال (Filamentous)، يتراوح حجمها من 1 مايكروميتر بالنسبة وحيدة الخلية و 30 مايكروميتر بالنسبة لمتعددة الخلايا،وتثبت النتروجين في الظلام.

تحتوي هذه الكائنات بدائية النواة على جسيم نووي (Nucleoid) بدلا عن النواة، و مقارنة مع البكتريا الاخرى تكون قادرة على القيام بالبناء الضوئي الاوكسجيني حيث تأخذ الالكترونات من الماء لتختزل ثنائي اوكسيد الكاربون نظرا لامتلاكها صبغة الكلوروفيل ،والتي تخفيها في بعض الاحيان في صبغات البناء الضوئي الاخرى مثل الفيكوسيانين (Ficocyanine) و الالوفيكوسيانين (Alloficocyanine).

اللون الاخضر المزرق المميز لهذه المجموعة ناشئ من اجتماع الكلوروفيل والفيكوسيانين، تتكاثر السيانوبكتريا عن طريق التضاعف بوساطة الانشطار الخلوي (Cell fission)، و من صفاتها المميزة الاخرى امتلاكها حويصلات غازية تمكنها من الحركة في المياه الى الاماكن ذات الاضاءة الجيدة، بعض انواع Anabaena تتمكن من ربط النتروجين الجوي بتراكيب تسمى Heterocysts، و بسبب قدرتها على مقاومة الظروف البيئية المتطرفة استطاعت من الانتشار والتواجد في مختلف البيئات و بشكل واسع جدا، فمن الطبيعي مشاهدتها في الصحارى و الينابيع الساخنة، تتسبب السيانوبكتريا بظاهرة الاثراء الغذائي في البحيرات وخزانات المياه الاخرى، بعض انواع السيانوبكتريا يكون منتجا لنواتج ايضية سامة.

رابعاً: الطحالب:

من الطحالب المميزة المتوافرة في المياه قليلة المحتوى الغذائي هي الدايتومات والعائدة للاجناس التالية: Asterionella و Tabellaria و Melosira و طحالب اخرى مثل Dinobrion، اما في المياه الغنية بالمغذيات فيكون محتواها من الطحالب مختلفا تماما، اغلبها يكون عدد مختزل من الدايتومات و بدلا عنها تظهر الطحالب من الصنف Dinophyta و كذلك الجنس Spirogera.

تقسم الطحالب الى الاصناف الاتية:

- **Chlorophyta:**

أو ما يعرف بالطحالب الخضر، تحتوي على الكلوروفيل a و b ولها جدار خلوي سليلوزي و هي تتواجد باشكال متعددة الخلايا و بتراكيب تشبه الخيوط، قد تكون الخلايا متحركة بوساطة اسواط او غير متحركة. حاملات الاصباغ من مختلف الاشكال و ذات لون اخضر. تتكاثر خضريا او جنسيا. التكاثر الخضري يكون بانقسام الخلايا و تجزؤ الاشكال الشبيهه بالخيوط.

- **Chrysophyta:**

تضم هذه المجموعة الدايتومات المهمة للبيئة المائية و هي طحالب شائعة و تتواجد في المياه العذبة و مياه البحر و في رواسب القاع و في التربة، وهي تحتوي على النوعين a و c من الكلوروفيل، كما ان جدارها غني جدا بالسليكا و تنتج الدهون كمادة احتياطية.

- **Euglenophyta:**

طحالب شبيهه باليوغلينا لها اشكال متطاولة و خلاياها مجهزة باسواط تتيح لها السباحة في المياه و قد تتحرك زحفا على طول القاع. تحاط الخلايا بغلاف ناعم يدعى الجليد (Pellicle)، تحتوي حاملات الاصباغ على الكلوروفيل والكاروتينات و الزانثوفيلات، من الممكن مشاهدة النواة بوضوح داخل الخلية وكذلك البقعة العينية المسماة Stigma التي تكون حساسة لحافز الضوء، تصنع الخلايا شبيهة اليوغلينا اكياسا تساعدها على تحمل الظروف القاسية، تنمو هذه الكائنات في المياه الحاوية على تراكيز من المركبات العضوية، وهناك بعض الاشكال الطفيلية.

- **Pyrrophyta:**

تتواجد عادة بشكل افراد و تحاط بعض الخلايا بجدار سليلوزي في حين البعض الاخر يكون خاليا من اي جدار خلوي، و هي عادة تمتلك سوطين تمكنها من الحركة، في داخل البروتوبلازم هناك نواة معزولة حاملات اصباغ صفراء مخضرة او صفراء بنية، تتكاثر هذه المجموعة بالانقسام و بعضها يتكاثر جنسيا، تتواجد هذه المجموعة في مياه البحر معتدلة الملوحة و هناك انواع معينة تعيش في المياه العذبة، و في البحيرات يتواجد هناك النوع Ceratium hirundinella الذي يظهر احيانا على شكل كتل كبيرة.

- **Rhodophyta:**

تحتوي هذه المجموعة على كلوروفيل a و b فضلا عن الصبغات الاخرى مثل الكاروتينات و الزانثوفيلات و صبغات الفايكوبيلين مثل الفايكوايريثرين و الفايكوسيانين، تستطيع هذه المجموعة خزن النشا في خلاياها، جدرانها الخلوية متكونة من طبقتين: الداخلية متكونة من السليلوز في حين تتكون الطبقة الخارجية

من البكتين، تتكاثر هذه المجموعة لاجنسيا عن طريق تجزؤ (Fragmentation) الثالوس وجنسيا بوساطة Oogamy.

- **Phaeophyta:**

طحالب بنية اللون تحتوي على كلوروفيل a و c و الكاروتينويدات (فوكوزانثين)، تخزن مواد احتياطية مثل اللاميناريين (β-1,3-glycan) و كريسولاميناريين و المانيتول و الدهون، جدارها الخلوية ثنائي الطبقة: الداخلية تتكون من السليلوز بينما الخارجية تتكون من البكتين، الطحالب البنية احياء متعددة الخلايا تمتلك اعلى درجات التخصص للثالوس و التغاير المظهري والتشريحي من بقية الطحالب. تتكاثر لاجنسيا بوساطة Zoospores وجنسيا بوساطة الامشاج (Gametes).

خامساً: الابتدائيات:

تعيش الابتدائيات في جميع انواع المياه من البرك الضحلة الى البحار، وهي كائنات مختلفة التغذية تتغذى عن طريق امتصاص المركبات العضوية الذائبة او عن طريق التهام البكتريا، تتواجد بكثرة في المياه عالية التلوث، كما انها واحدة من عناصر الحمأة المنشطة (Activated sludge)، عندما يكون مستوى التلوث ليس عالياً جدا في المياه، تسود الهدبيات (Ciliates) حرة السباحة (Paramecium) و تلك المستقرة (Vorticella).

من الممكن ان تقسم الابتدائيات الى اربعة اصناف:

- **السوطيات (Flagellata):**

تتحرك باسواط طويلة، مختلفة التغذية و تتواجد في المياه الملوثة او في الحمأة المنشطة غير الكفوءة وظيفيا، كما يمكنها ان تمتص البكتريا او الطحالب

وحيدة الخلية فضلا عن المواد الذائبة الاخرى، تتواجد السوطيات افرادا او مستعمرات، كما يحوي هذا الصنف على انواع متطفلة ايضا متمثلة بالانواع Giardia lamblia التي تصيب امعاء الانسان و Trypanosoma gambiense التي تنتقل الى الانسان عن طريق ذبابة Tsetse مسببة مرض النوم الافريقي و اضطرابات عصبية.

- **كاذبة الاقدام (Rhizopoda):**

خلايا اميبية الشكل تستغل بالاقدام الكاذبة للحركة و لاقتناص الغذاء، بعض الاميبيات تمتلك شكلا متغيرا في حين الاخريات لها شكل ثابت كونها مزودة بهيكل خارجي صغير جدا (Mini-skeleton) او قشرة خارجية، بعض الانواع تحيا حياة طفيلية مثل Entamoeba histolytica التي تتطفل على امعاء الانسان مسببة الزحار الاميبي (Amoebic dysentery).

- **الهدبيات (Ciliata):**

معظمها تحيا حياة هائمة في الماء (Free swimming) مثل Paramecium و Euplotes والبعض منها يزحف او يلتصق بالقاع، تتغذى على البكتريا و الطحالب و المواد العضوية، تتواجد الهدبيات باعداد كبيرة في المياه الملوثة و الحمأة المنشطة كما يكون بعضا متطفلا على الانسان مثل Balantidum coli الذي يتطفل على الانسان و الحيوان.

- **البوغيات (Sporozoa):**

ابتدائيات متطفلة تتمثل بالانواع Cryptosporidim parvum التي تتطفل على امعاء الانسان و Plasmodium malariae التي تسبب مرض الملاريا الذي يصيب كريات الدم الحمر، وهو ينتقل الى الى الانسان عن طريق بعوض Anopheles.

الفصل الخامس

الأحياء الممرضة المتواجدة في المياه

ماهو الكائن الممرض:

ان مصطلح ممرض (Pathogen) مشتق من كلمتين اغريقتين Pathos و تعني يعاني و كلمة gen و تعني مولد او منتج، و بهذا تكون معنى waterborne pathogens هو الاحياء المجهرية التي تسبب الامراض و التي تتواجد في الماء، اكثر الانواع المايكروبية الممرضة شيوعا في المياه هي البكتريا، ولكن هناك ايضا الابتدائيات والفايروسات و بعض الانواع الطحلبية، علما انه ليس كل الكائنات المجهرية في المياه ممرضة بل على العكس يكون اغلبها مفيد خصوصا في اعادة تدوير العناصر و تحليل المواد العضوية.

عادة اغلب الاحياء المجهرية تعيش في البيئات الدافئة والرطبة و المظلمة التي تكون غنية بالمغذيات و تشكل القناة المعوية في الانسان او الحيوان بيئة ملائمة جدا للاحياء المجهرية الممرضة، يطرح الانسان او الحيوان المصاب الملايين من الاحياء المجهرية الممرضة و الكثير منها لن يتمكن من البقاء حيا في الظروف القاسية في العالم الخارجي، في حين البعض منها يجد طريقه الى البيئة المائية و من هناك الى مضيف اخر، غالبا تدخل هذه الكائنات البيئة المائية بوساطة مياه الفضلة وكذلك عن طريق المخلفات التي ترمى في الشواطئ.

أولاً: البكتريا:

معظم الانواع البكتيرية حرة المعيشة و لكن هناك انواعا منها تصيب الانسان و الحيوان تدخل اجسامها عن طريق البلع او الاستنشاق او الغزو.

مجموعة البكتريا المرضة اجبارا المتواجدة في المياه السطحية الملوثة تتمثل بالعصيات المسببة للتايفويد(Salmonella typhi)، فضلا عن بقية انواع هذا الجنس التي تتسبب بمختلف الاصابات للقناة الهضمية، وكذلك العصيات السالبة للون غرام Shigella المسببة للزحار البكتيري الذي يكون اقل شيوعا من التايفويد، و في المياه السطحية للمناطق الاستوائية تتواجد البكتريا المسببة

للكوليرا Vibriocholerae بكثرة، كما يمكن لبكتريا التدرن Mycobacterium tuberculosis وبكتريا Legionella ان تتواجد في المياه الملوثة.

وتعد البكتريا اللولبية Leptospira interrogans والبكتريا Campylobacter jejuni من الانواع الاكثر اهمية طبيا.

وهناك عديد من البكتريا السالبة للون غرام التي توصف بانها احياء انتهازية تتمثل بالاجناس:

Pseudomonas وAeromonas وKlebsiella و Flavobacterium و Enterobacter و Citrobacter و Serratia و Acinetobacter و Proteus وProvidencia و Escherichia، جميع هذه العصيات هي جزء من الفلورا الاعتيادية للامعاء وهي ليست ممرضة بذاتها ما دامت متواجدة في امعاء الانسان او الحيوان، و لكن في بعض الحالات تجد طريقها الى الى اعضاء اخرى و تصبح مسبب لمختلف الامراض مثلا خمج (infection) المجارية البولية او التنفسية و الانتان (Sepsis) (عبارة عن اصابات عامة تصيب الاعضاء الداخلية للجسم).

تقدر جرعة الاصابة لاغلب الانواع البكتيرية وخصوصا البكتريا المعوية للاشخاص المصابين بحوالي عشرة الاف خلية حية، في حين يقل هذا العدد بكثير في حالة بكتريا Shigella و Salmonella.

- **بكتريا القولون Escherichia coli**

بكتريا عصوية الشكل يتراوح طولها من 2 – 6 مايكرومتر و عرضها من 1.1 – 1.5 مايكرومتر، سالبة للون غرام و غير مكون للسبورات، متحركة باسواط محيطية (Peritrichous) لاهوائية اختيارا، بعض سلالاتها مكون للمحفظة (Capsule) المؤلفة من عديد السكريات الحامضية (Acidicpolysaccharides)، تكون السلالات المخاطية (Mucoid strains)

بوليمرات خارج خلوية تدعى مستضد Antigen K) K) و يدعى عديد السكريد الحامضي المكون من حامض الكولانيك (Colanic acid) مستضد Antigen M) M)، تكون هذه البكتريا انواعا مختلفة من الاهداب (Fimbriae) الضرورية للالتصاق بخلايا المضيف.

اكتشفت E. coli لاول مرة من العالم Theodor Escherich اثناء دراسته لفلورا امعاء الرضع. و قد وصفها في العام 1885 على انها Bacterium coli commune وثبت صفاتها الامراضية في الاصابات خارج الامعاء، استخدم الاسم Bacterium coli كثيرا حتى العام 1919 ثم حل محله اسم الجنس Escherichia والنوع النموذجي (type species) هو Escherichia coli.

تصنف E.coli كاحد افراد الفلورا الطبيعية غير الضارة للانسان في الجزء البعيد من القناة المعوية، عموما يكتسب هذا الجنس عند الولادة او عن الطريق الفموي – البرازي من الام او من البيئة،ومعظم سلالات E.coli غير ممرضة ولكن هناك بعض السلالات تكون مسببة لعدد من الامراض.

تكون E.coli المسبب الشائع لخمج المجاري البولية و انتان البول كما انها عرفت على انها المسبب لخمج السحايا في الاطفال حديثي الولادة والانتان والخراجات (Abscesses) في مختلف اعضاء الجسم، من الممكن ان تسبب بكتريا E.coli خمج الامعاء الحاد (Acute Enteritis) في الانسان و الحيوان على حد سواء و اسهال المسافرين (Traveller's diarrhea) وهو مرض شبيه بالزحار (Dysentry) يصيب الانسان ,و خمج القولون النزفي(Haemorrhagic colitis) الذي يسمى عادة بالاسهال الدموي.

اجري العديد من الدراسات المختبرية حول التجريع الفموي (Oral challenge) لعدد من انواع E.coli لتحديد الجرعة اللازمة للاصابة و الاسهال و اظهرت النتائج ان النوع Enteropathogenic E.coli (EPEC)

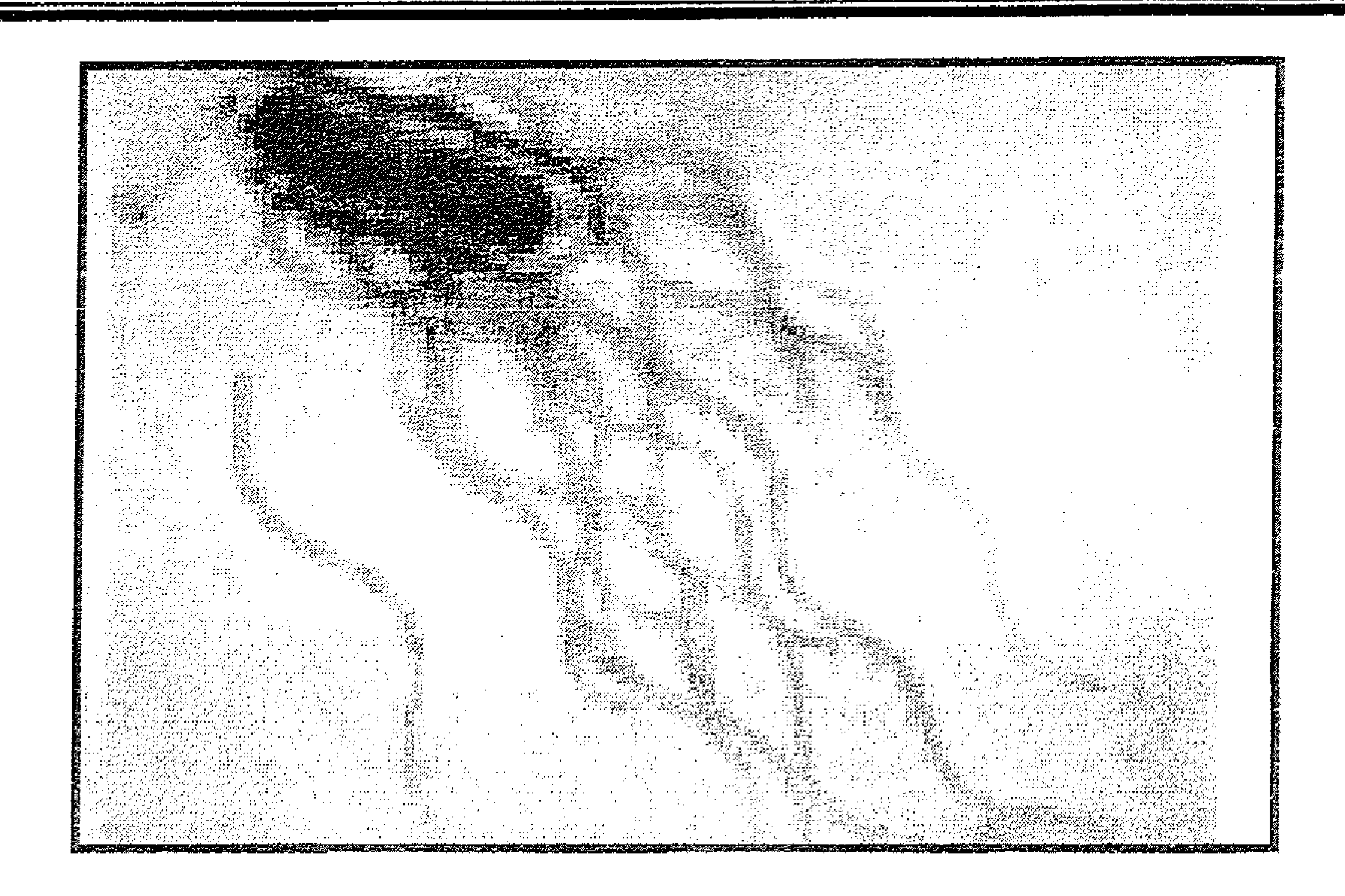
يحتاج من 10^5 الى 10^{10} خلية، وان Enterotoxigenic E.coli (ETEC) تحتاج $10^8 - 10^{10}$، وان Enteroinvasive E. coli (EIEC) تحتاج 10^8 خلية، وتتغايرهذه الجرع طبقا الى عوامل الجنس و العمر و حموضة المعدة، اما بالنسبة للنوع Vero cytotoxigenic E.coli (VTEC) والذي يسمى ايضا Enterohemorrhagic E.coli(EHEC) فتكون الجرعة اللازمة للاصابة اقل من 100 خلية حسب تقرير Advisory committee on the microbiology safety of food, 1995، وهناك النوع Enteroaggregative E.coli (EAEC) المسبب لاسهال مخاطي دموي تكون جرعة الاصابة له جدا عالية، ولازالت الابحاث تجرى حول النوع Diffusely adherent E.coli (DAEC) الذي يسبب الاسهال المائي في الاطفال الاكبر عمرا.

جميع الانواع الممرضة معويا العائدة لبكتريا E.coli تكتسب من حاملي المرض سواء من البشر او الحيوانات بصورة مباشرة او غير مباشرة، والخطورة تكمن في ماء الشرب لذا فان كلورة الماء كفيل بالقضاء على هذه البكتريا، مع ذلك يبقى الاهتمام منصبا على الدور المهم و الكامن للغشاء الحياتي الذي يحمي بكتريا E.coli الممرضة معويا في الماء من فعل المطهرات وخصوصا البكتريا (EHEC) ذات جرعة الاصابة المنخفضة.

لقد وجد ان السلالة E.coli O157 تتمكن من البقاء حية لمدة 21 يوما في الماء ولكنها حساسة للكلور كاي سلالة عائدة لبكتريا E.coli اخرى.

- **بكتريا السالمونيلا Salmonellae:**

بكتريا سالبة لملون غرام عصوية الشكل يتراوح طولها من 2 – 5 مايكرومتر و عرضها 0.8 – 1.5، على الرغم من وجود سلالات متحركة بوساطة اسواط محيطية توجد هناك سلالات غير متحركة ايضا، لاهوائية اختيارا غير مكونة للسبورات (انظر شكل 8).



شكل (8) بكتريا السالمونيلا و يلاحظ الاسواط المحيطية

تنتقل عن الطريق البرازي – الفموي و تسبب ما يدعى بداء السالمونيلا (Salmonellosis) الذي ينقسم الى ثلاثة انواع سريرية تصيب الانسان، وهي خمج القناة المعدية المعوية (Gastroenteritis) والحمى المعوية(Enteric fever) وانتان الدم (Septicaemia).

يصيب خمج القناة المعدية المعوية القولون الذي يحدث بعد 18 – 48 ساعة من ابتلاع عصيات السالمونيلا ويتصف بالاسهال والحمى والم في البطن وهو خمج ذاتي الشفاء يبقى لمدة يومان الى خمسة ايام.

تتسبب الحمى المعوية او حمى التيفوئيد عن بكتريا S. typhi والحمى جنب التيفوئيد عن بكتريا S. paratyphi A, B and C . حمى التيفوئيد اشد و تبقى لمدة اطول و تتسبب بوفيات اكثر تتمثل بالاعراض الاتية: حمى متواصلة و اسهال و الم في البطن و قد تشمل الاعراض عجز الكبد و الطحال و ضرر عصبي و تنفسي، تبقى الاعراض لمدة اسبوعين الى ثلاثة اسابيع.

يتميز انتان الدم بقشعريرة و حمى عالية متقطعة و فقدان الشهية و تجرثم الدم، قد تتموضع البكتريا في اي عضو من اعضاء الجسم و تكون افات تؤدي الى داء السحايا (Meningitis)او خمج شغاف القلب (Endocarditis) او ذات الرئة (Pneumonia) او خمج العظام (Osteomyelitis) .

تخدم الحيوانات البرية والداجنة كمستودعات (Reservoirs) للسالمونيلا مثل الدواجن و الوز و الماشية و الطيور و الكلاب و القوارض و السلاحف و القطط، و يدخل الانسان ضمن هذه القائمة مثل المصابين غير ظاهري الاعراض او ما يسمون بناقلي المرض الشافين (Convalescent carriers).

تحصل الاصابة عند ابتلاع الطعام او الحليب او الماء الملوث ببراز المضائف المصابة او بابتلاع منتجات اللحوم المصابة.

قد تتواجد السالمونيلا في اي جسم مائي (مياه عذبة او مصب و بحر او مياه جوفية) اذا تلوثت بالمجاري، معظم الانواع المصلية للسالمونيلا قادرة على البقاء حية في المياه و قد تتكاثر في المياه عالية التلوث في الاشهر الدافئة من السنة، و في ضوء الادلة الموثقة فان معاملة مياه الشرب بالمعقمات والمطهرات يكون فعالا ضد السالمونيلا على الرغم من وجود ما يثبت انها اكثر مقاومة من بكتريا القولون، كما ان عدم وجود بكتريا القولون و E.coli في المياه المعالجة لا يعني بالضرورة عدم وجود السالمونيلا في تلك المياه، اما اذا استطاعت تكوين الغشاء الحياتي في المياه فمن المحتمل ان تعيش لمدة طويلة نتيجة للحماية التي يوفرها الغشاء الحياتي ضد المطهرات.

بسبب صعوبة كشف وتعداد الكثير من الاحياء المجهرية المرضة فان الطرائق المستعملة للكشف عنها تكون غير عملية وبالتالي لا يمكن عد ذلك دليلا على تواجدها او غيابها في تلك المياه، و بناءً على ذلك عمدت كل منظمة الصحة العالمية (WHO) و منظمة حماية البيئة الامريكية (US EPA) الى وضع معايير

مايكروبية عامة تخص التعداد الكلي لبكتريا القولون و والبكتريا البرازية كدليل على التلوث بالمجاري.

- **عصيات الشيغلا Shigellae:**

عصيات سالبة للون غرام غير متحركة لاهوائية اختيارا، تصنف ضمن العائلة المعوية Enterobacteriaceae، اكتشفت لاول مرة من العالم Kiyoshe Shiga في العام 1898 مع ان هناك دلائل تشير الى Ogata في اليابان عام 1892 وChantemesse و Widal في فرنسا عام 1888 يمكن ان يكونوا قد عزلوها مبكرا، نشر اسم الجنس Shigella لاول مرة عام 1919 من الباحثين Castellani و Chalmers.

من الممكن ان يقسم هذا الجنس اعتمادا على الصفات البايوكيميائية والمصلية الى اربعة مجاميع مصلية: المجموعة A و تشمل النوع S.dysenteriae الذي يضم في الاقل عشرة انواع مصلية والمجموعة B و تشمل النوع S.flexneri و يضم ستة انواع مصلية، و المجموعة C التي تشمل النوع S.boydii و تضم خمسة عشرة نوعا مصليا، و المجموعة D التي تضم نوعا مصليا واحدا تشمل النوع S. sonnei.

تستطيع هذه الانواع تحمل الظروف الحامضية المتطرفة (pH 2.5) لمدة قصيرة و لكنها تفضل النمو عند الظروف المتعادلة او القاعدية الخفيفة (pH 7 – 7.4).

تنتقل بوساطة الطريق البرازي – الفموي مسببة مرض الزحار البكتيري او ما يسمى بداء الشيغلات (Shigellosis) في الانسان الذي قد يطرح ما مقداره $10^5 - 10^9$ عصية لكل غرام من البراز في حين يطرح ناقلي المرض الاصحاء $10^2 - 10^6$ لكل غرام.

بعيدا عن الحالة المناعية للشخص المصاب، تعتمد شدة المرض على سلالة البكتريا فالمرض المتسبب عن S. sonnei يميل الى ان يكون خفيفا و قصير الامد، بينما المتسبب عن S. flexneri يميل الى ان يكون شديد الوطأة، اما السلالتان S.dysenteriae و S.boydii فتسببان امراضا متغايرة الشدة و ترتبط S.dysenteriae بالاوبئة ذات الامراضية الشديدة.

تقدر جرعة الاصابة في الشيغلا بحوالي 10^4 و في دراسة اجريت على متطوعين تناولوا غرامين من بيكاربونات الصوديوم ارتفعت الى 10^8، وعموما تعد اقل من جرعة الاصابة في بكتريا Vibrio cholerae التي تكون بحدود 10^7او اكثر من ذلك.

تظهر اعراض المرض فجأة و عادة تكون مغص في البطن يتبعه اسهال مائي مصحوبا عادة بحمى و بتوعك (Malaise)، و قد يطرح بعض المرضى كميات قليلة من البراز الدموي المخاطي.

تنتج هذه البكتريا ذيفانا خارجيا عصبيا يدعى Shiga toxin يؤثر في نقل السوائل داخل الطبقة المخاطية المعوية و لحد الان لم يعرف دوره في الامراضية.

من الممكن ان تتواجد الشيغلا في المياه السطحية و مياه الشرب الملوثة و هي مشكلة كبيرة خصوصا في البلدان النامية، و كقاعدة عامة ماء الشرب لا يحتوي على الشيغلا الا اذا كان غير معالجا.

يعتمد بقاء الشيغلا في الماء على تركيز الخلايا البكتيرية الاخرى والمغذيات و الاوكسجين و درجة الحرارة، ففي المياه النظيفة لا تتمكن الشيغلا من البقاء حية لاكثر من 14 يوما عند درجة حرارة اكثر من 20 درجة مئوية، اما عند المياه ذات الحرارة اقل من 10 مئوي فتتمكن من البقاء حية لمدة قد تصل الى اسابيع، و قد تمكنت S.dysenteriae من البقاء حية لمدة تراوحت من شهرين الى 29 شهرا

في مياه معقمة ملوثة بالبراز، كما ذكرت بعض المصادر ان S. flexneri كانت قادرة على التضاعف في ماء نهر معقمة.

الاصابات بانواع الشيغلا غالبا ما تكتسب تلوث ماء الشرب ببراز الانسان او عن طريق تناول غذاء مغسول بماء ملوث، و هنالك دلائل تشير انه من الممكن ان يصاب الانسان بالشيغلا عن طريق السباحة في المياه الملوثة بالمجاري.

- **بكتريا الكوليرا Vibrio cholerae:**

بكتريا منحنية الشكل قصيرة (0.5 – 0.8 قطراً و 1.5 – 2.5 مايكرومتر طولا) سالبة للون غرام غير مكونة للسبورات و لا تكون محفظة وهي لاهوائية اختيارا، و تتحرك بمساعدة سوط قطبي واحد، ففي الاوساط السائلة تظهر جميع الضمات (Vibrios) حركة شديدة تشبه حركة السهم (Darting) لها القدرة على مقاومة الظروف القاعدية القوية و التراكيز الملحية العالية.

في البدء صنفت هذه البكتريا الى سلالات O1 و سلالات ليست O1 (non- O1) التي سميت فيما بعد باسم اخر هو O139 Bengal والان هناك 206 نوعا مصليا.

تقسم سلالات O1 الى نوعيين حياتيين (Biotypes) تدعى التقليدي (Classical) و إل تور (El Tor) و كلاهما يقسم الى ثلاثة انواع مصلية Inaba و Ogawa و Hikojima .

تسبب مرض الكوليرا و تنتقل عن الطريق البرازي – الفموي لذا يجب ان تبتلع باعداد كبيرة جدا كي تتمكن من تخطي حموضة المعدة لتسبب الاصابة، و بعد ان تلتصق بالخلايا الطلائية تبدا بافراز ذيفان معوي خارجي يسمى ذيفان الكوليرا (Cholera toxin) الذي يكون مسؤولا عن اعراض مرض الكوليرا المتمثلة

باسهال مائي قد يصل الى 20 لتر يوميا و بسبب مظهره و لونه يدعى ماء الرز (Rice water stool) علاوة على التقيوء. يحصل الموت بسبب الجفاف.

ابتلت البشرية بوباء الكوليرا سبعة مرات منذ بدايات القرن التاسع عشر، ستة منها كانت بسبب النوع الحياتي التقليدي والسابع تسبب بها النوع الحياتي ال تور، فبين العام 1832 و العام 1836 مات اكثر من 200 الف اميركي عندما اجتاح الوبائان الثاني و الرابع امريكا الشمالية. بدأ الوباء السابع في العام 1961 في اندونيسيا منتشرا الى جنوب اسيا و الشرق الاوسط و اجزاء من افريقيا و اوروبا، بقيت امريكا الجنوبية خالية من الكوليرا لمئات السنين حتى كانون الثاني عام 1991 عندما ظهر الوباء في بيرو فجأة، و يعتقد السبب في ذلك وصول مياه قذرة الى ميناء ليما و كان ماء البلدية غير مكلور (Not chlorinated) مما ادى الى تلوثه بسرعة، ثم انتشر المرض بسرعة فقد ظهرت 700 الف حالة اصابة و 6323 حالة وفاة.

المصدر الرئيس للعدوى هو المياه الملوثة ببراز الانسان و كذلك الخضراوات المسمدة ببراز الانسان فالشخص المصاب بالكوليرا يطرح مليون او اكثر من البكتريا لكل مليلتر من البراز.

تتمكن Vibrio cholerae من البقاء حية في البيئة مدة اطول من بقية الانواع البكتيرية البرازية مما يدعو الى الاهتمام اكثر بها، عزلت هذه البكتريا من المياه السطحية و مياه الشرب كما يمكنها البقاء حية لمدة تمتد الى 13 يوما في هذه البيئات، اما سلالات النوع O1 المنتجة للذيفان فتكون قادرة على البقاء حية في البيئات المائية لعدة سنوات و ربما يعود ذلك الى تواجدها على هيئة غشاء حياتي (Biofilm).

هناك ضمات مرضية اخرى غير V.cholerae مثل البكتريا V.parahaemolyticus المسبب الرئيس لمرض تسمم غذائي في جنوب شرق اسيا

خصوصا في اليابان، و هناك ايضا انواعا معزولة من الانسان تشمل V.alginolyticus المحبة للملوحة، و V.vulnificus التي تكون شديدة الغزو تصيب الافراد ضعيفي المناعة والذين يتناولون الغذاء البحري، و V.damsela المسؤولة عن اصابات الجروح، و النوع V.hollisae الذي يسبب الاسهال والنوع V.mimicus المرتبط بحالات الاصابة المعوية المعدية و النوع V.fluvialis الذي يسبب الاسهال و الحمى.

- **بكتريا Campylobacter:**

عصيات منحنية او حلزونية سالبة للون غرام يتراوح عرضها من 0.2 الى 0.4 مايكرميتر و طولها من 0.5 الى 5 مايكروميتر غير مكونة للسبورات تتحرك بسوط قطبي واحد في احد اطراف الخلية او كليهما عدا النوع C. gracilis الذي يكون غير متحركاً، بكتريا قليلة التهوية (Micoraerophilic) تتطلب 3 الى 5٪ من ثنائي اوكسيد الكاربون و 3 الى 15٪ من الاوكسجين، تظهر اشكالا كروية في المزارع القديمة المعرضة للهواء والتي يشار لها بانها حالة حية ولكن لايمكن زرعها (Viable but non-culturable state).

تعد هذه البكتريا متعايشة (Commensals) وخصوصا الانواعC.jejuni و C.coli في اغلب الحيوانات اما في الانسان فتسبب امراضا مثل الاسهال و خمج الامعاء و القولون.

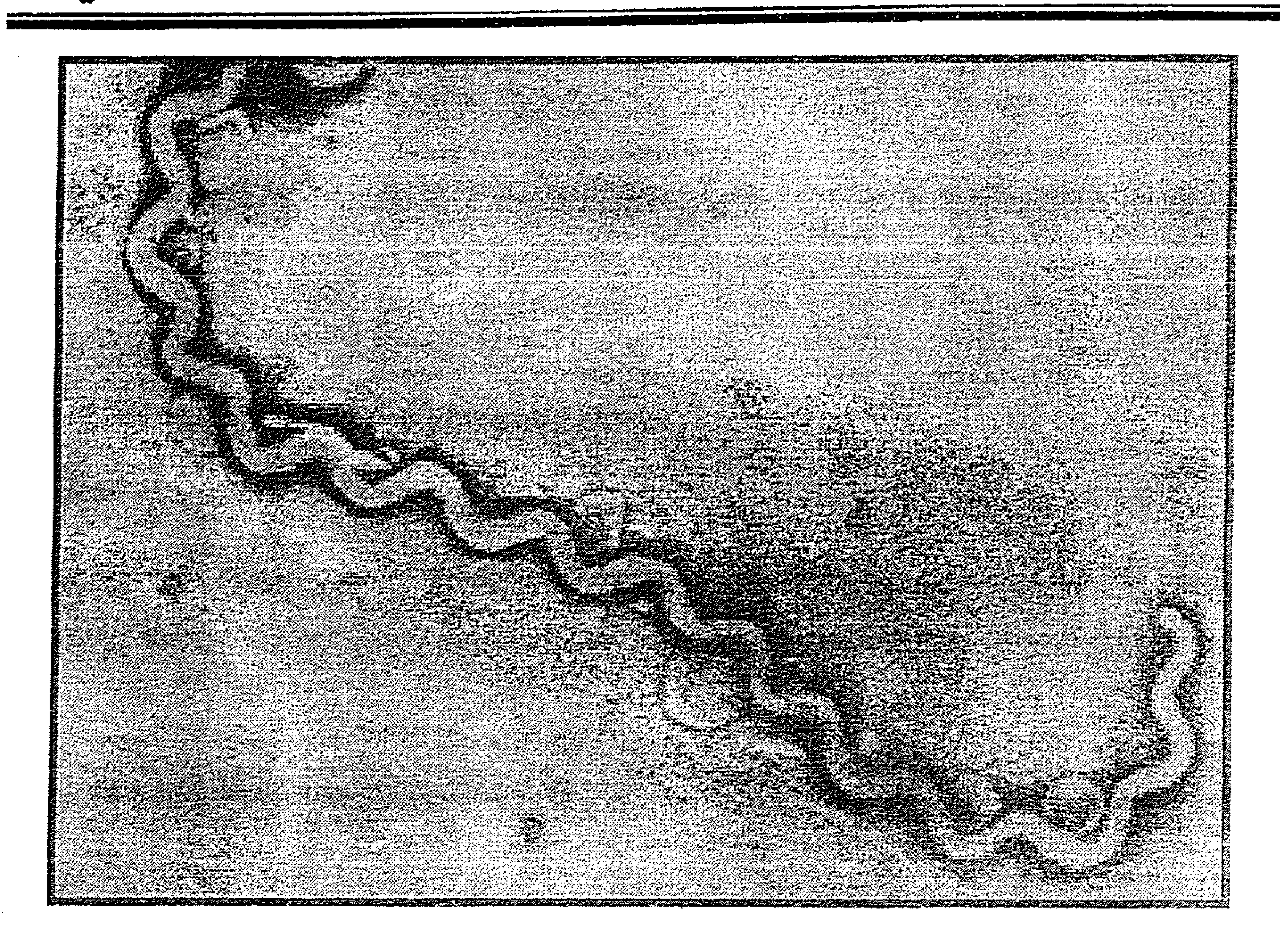
الاعراض الرئيسة للاصابة ببكتريا Campylobacter في الانسان تشمل الاسهال الحاد، و تتراوح فترة الحضانة من يوم الى ثمانية ايام، كما ان جرعة الاصابة تتغاير بشكل كبير مع ان بعض الدراسات ذكرت ان ابتلاع بضعة مئات من الخلايا قادرة على احداث اصابة، ظهور الاسهال يكون مفاجئا تسبقه عادة اما اعراض شبيهة بالانفلونزا أو الم حاد في البطن أو كلاهما، هذه الاعراض تشبه الى حد ما اعراض خمج الزائدة الدودية (Appendicitis) مما يفضي الى التشخيص

الخاطئ، يكون الاسهال كثيرا و مائيا ربما بسبب انتاج الذيفان المعوي شبيه الكوليرا او قد يكون زحاريا حاويا على دم و مخاط، في الاطفال الصغار تظهر اعراض خفيفة من الاسهال المائي، تنتشر بكتريا Campylobacter في البيئة بشكل واسع فقد تم عزلها من المياه العذبة و البحرية فضلا عن مياه المجاري غير المعالجة اذ يكون عددها كبيرا مقارنة مع المياه السطحية، كما يمكنها البقاء حية لمدة اسابيع في المياه الجوفية عند 4 درجة مئوية و في البيئات المائية يسود النوع C.jejuni اكثر من النوع C.coli او النوع C.lari، و في الحقيقة ان نمو هذه البكتريا ينتعش كلما قلت درجة الحرارة عن 15 درجة مئوية، و هي حساسة للكلورة لذا ينصح بكلورة الماء للتخلص منها.

يرتبط تواجد بكتريا Campylobacter في البيئة و خصوصا المائية بتواجد العقديات البرازية (Fecal streptococci) و بكتريا القولون البرازية.

- **بكتريا Leptospira enterrogans:**

عصيات سالبة للون غرام لولبية الشكل (انظر شكل 9) هوائية تتواجد في البيئات المائية او داخل اجسام الحيوانات، هناك ثلاثة اشكال منها هوائية و هوائية اختيارا و لاهوائية، و كل منها يتكاثر في ماء الفضلة، تكون الغشاء الحياتي الذي يبطن الاحواض الرئيسة للمجاري (Manholes) تسبب هذه البكتريا مرض Leptospirois الذي يصيب الكلى و ينتقل عن طريق ادرار الحيوانات المصابة وخصوصا القوارض، و الذي يصيب ملايين البشر و بنسبة موت تقترب من 25 ٪ في بعض المناطق حيث يتعرض الناس الى الماء الملوث بادرار الحيوانات المصابة، و يترافق انتشار المرض مع الفصول الدافئة من السنة و الفيضانات حيث تغسل التربة الحاوية على ادرار الحيوانات المصابة الى المصادر المائية مثل الابار و الجداول.



شكل (9) البكتريا اللولبية Leptospira enterrogans

تتضمن اعراض هذا المرض حمى و صداع و تلف في الكبد و الكلى و قد يؤدي الى الموت، يمر بفترة حضانة تتراوح من 10 – 12 يوما، و اغلب حالات هذا المرض تكون غير ظاهرة الاعراض. تدخل البكتريا الى الجسم المضيف عن طريق عبور الاغشية المخاطية للعين او الفم او تشققات الجلد (Abrasions) او عن طريق ابتلاع الماء و الطعام الملوث، و حالما تصبح البكتريا داخل الجسم تدخل النبيبات الملتوية (Convoluted tubules) للكلى و تبدأ بالتضاعف مسببة المرض و تطرح مع الادرار مرة اخرى.

تموت اللولبيات (Spirochetes) خارج الجسم وخاصة في المياه الحامضية ،و لكنها تتمكن من البقاء حية لمدة ثلاث ساعات في المياه المتعادلة و القاعدية الخفيفة.

يمكن تجنب التعرض لهذه البكتريا في مياه المجاري و ذلك بالسيطرة على القوارض في شبكة المجاري، و تحطيم الغشاء الحياتي في الاحواض الرئيسة باضافة المنظفات (Detergents) او ترش بحامض الميوراسيك و الهيدروكلوريك نظرا لان انخفاض الاس الهيدروجيني يؤدي الى قتلها، و بعد ذلك يجب ازالة الاغشية الحياتية المعاملة بدفق المياه نحوها.

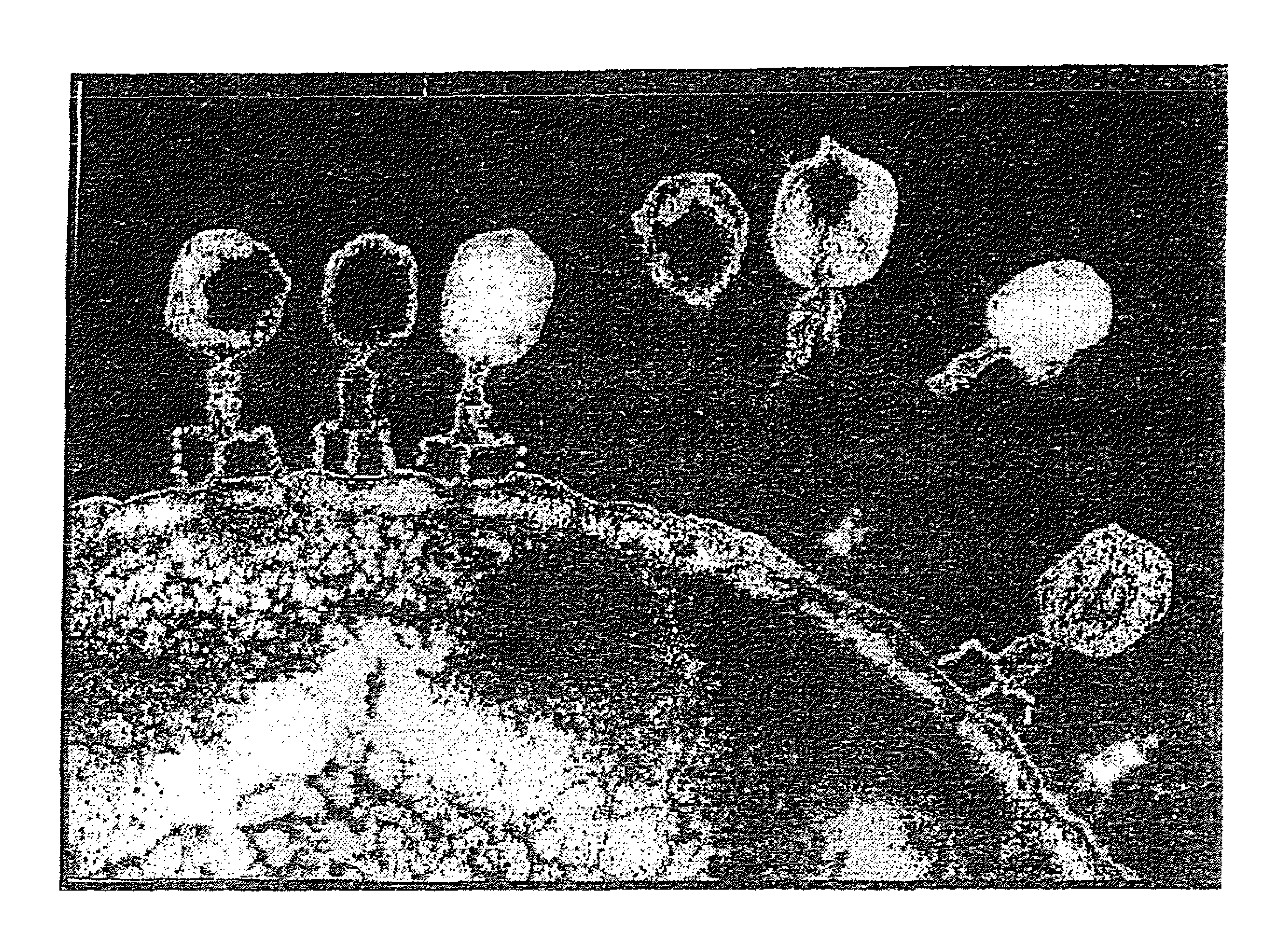
ثانياً: الفايروسات:

الى جانب البكتريا المتواجدة في المياه السطحية حيث ترمى مياه الفضلة الصناعية و البلدية ،فالمياه تحتوي على كميات كبيرة من الفايروسات، و خصوصا فايروس شلل الاطفال و التهاب الكبد و الفايروسات المعوية التي تتواجد حتى في الانهار قليلة التلوث.

الفايروسات كائنات فائقة الصغر لا يمكن مشاهدتها بالمجاهر الاعتيادية ولكن يمكن مشاهدتها باستخدام المجهر الالكتروني، و تكون هذه الكائنات خاملة و غير متحركة، ومتنوعة التركيب ،ولكن هناك مكونين رئيسين يؤلفان التركيب العام لمعظم الفايروسات وهما المحتوى الوراثي (حامض نووي اما DNA او RNA) و يدعى اللب (Core) و الغلاف البروتيني (Capsid) الذي يوفر الحماية للمحتوى الوراثي و يكون مسؤولا عن الالتصاق بالخلية المضيفة و اختراقها، في حين يقوم اللب بالسيطرة على الخلية المضيفة و تسخير طاقتها ومحتوياتها و انظمتها الانزيمية لتضاعفه و انتاج فايروسات جديدة، و قد تحتوي بعض الفايروسات على غلاف دهني و لذلك تسمى بالفايروسات المغلفة (Enveloped viresus).

ونظرا لكونها طفيليات اجبارية داخل خلوية (Obligate intracellular parasites) لذا فان جميع الفايروسات ممرضة و هي تصيب كل الكائنات الحية ،و على الرغم من ذلك فلبعضها فائدة قيمة اذ يستخدم البعض منها في انتاج المضادات الحياتية، كما تستخدم الفايروسات التي تصيب البكتريا (العاثيات)

(نظر شكل 10) في علاج البكتريا المقاومة للمضادات الحياتية مثل Staphylococcus aureus.



شكل (10): العاثيات البكترية تصيب خلية بكتيرية

هناك عدة مجاميع فايروسية بشرية تتواجد في المياه و خصوصا مياه الفضلة (Wastewater) منها فايروسات التهاب الكبد ذات الاهمية القصوى، وهناك 100 نوع من الفايروسات المعوية المرضة للانسان و بجرعة اصابة (Infective dose) قليلة نسبيا، فضلا عن بعض الفايروسات التي ظهرت مؤخرا والتي تشمل فايروسات الايدز و انفلونزا الطيور و فايروس غرب النيل (West Nile virus).

تنتقل الفايروسات بعدة طرق منها المسلك المعوي (البرازي – الفمي) و المسلك التنفسي و الاول هو الاكثر شيوعا، كما يمكنها ان تنتقل بوساطة النواقل (Vectors) مثل الذباب و البعوض.

وسنتناول بعض الانواع الفايروسية بشئ من التفصيل

فايروس انفلونزا الطيور:

تتسبب الانفلونزا بوفيات عديدة بين البشر و انفلونزا الطيور احد الامراض التي ظهرت حديثا، تعرف ايضا باسم الانفلونزا الاسيوية. انصب الاهتمام عليه لعدة اسباب منها معدل التطفير السريع و الحصول على المعلومات الوراثية من بقية فايروسات الانفلونزا التي تصيب الانسان او الحيوان، و هو خطر جدا على الانسان و ينتشر بسرعة مسببا الاوبئة.

في العام 1918 اصيب البشر بهذا الفايروس و خلال شهر واحد تمكن الفايروس من التكيف للمضيف الجديد، و كان اول مضيف بشري له الجنود في الحرب العالمية الاولى، وانتشر الفايروس بسرعة و قتل من البشر اكثر مما فعل الطاعون في تلك الفترة (في غضون ستة اشهر قتل ما يقرب من ثلاثين مليون شخصا).

هناك طريقان لوباء الانفلونزا كي ينتشر الاول هو عودة ظهور سلالة فايروسية كامنة من اصل بشري بسبب المدة الطويلة نسبيا منذ التفشي الاخير له لذا لا توجد اليات دفاعية ممكن ان تكون جاهزة لمقاومته، و الثاني هو اكتساب سلالة غير بشرية مثلا من الطيور القدرة على الاصابة و الانتشار السريع.

وبعد ان اصاب فايروس انفلونزا الطيور انسانا مصاب بفايروس انفلونزا بشري اجتمت السلالتان معا وكونتا سلالة طافرة جديدة جزء بشري و اخر من الطيور و حالما يستوطن الفايروس الجديد فهو ينتقل بسرعة.

ان فايروس انفلونزا الطيور A (H5N1) هو احد خمسة عشر نوعا فايروسيا يسبب انفلونزا الطيور، و هو عادة ينتقل عن طريق البط و لا يصيب الدجاج و الخنازير، الطيور المصابة تمرر الفايروس عن طريق الفضلات والافرازات

الفمية لمدة لا تقل عن عشرة سنوات، و لهذا الفايروسات القدرة على الانتقال من الطيور الى الانسان الامر الذي قد يؤدي الى الموت.

اصاب هذا الفايروس (H5N1) الملايين من الدجاج في كمبوديا و الصين و اندونيسيا و اليابان و كوريا الجنوبية و تايوان و تايلاند و فييتنام، وكذلك اصاب البشر في الصين (هونج كونج) و تايلاند و فييتنام، و اول اصابة بشرية ابلغ عنها كانت في هونج كونج عام 1997.

البشر الذين بتماس مع الطيور اكثر عرضة للاصابة بهذا الفايروس و لايوجد دليل قاطع على قدرته للانتقال من انسان الى اخر.

يقاوم هذا الفايروس العقاقير المضادة للفايروسات القديمة مثل Amantadine و Rimantadine مع ذلك يظهر انه حساس للعقاقير الجديدة مثل Relenza و Tamiflu المثبطة لانزيم Neuraminidase. ولا زالت منظمة الصحة العالمية تعمل على تطوير لقاح ضده.

الفايروسات المعوية Enteroviruses:

جسيمات صغيرة عشرونية الاوجه (Icosahedral) بحجم 21 نانوميتر قطرا غير مغلفة الحامض النووي من نوع RNA بحجم 7.5 kb طولا، تضم الانواع الاتية Coxsackeiviruse و Echoviresus و Poliovirus.

الفايروسات المعوية ثابتة عند قيم اس هيدروجيني من 3 الى 10 و هي مقاومة لمركبات الامونيوم الرباعية (Quaternary ammonium compounds) و 70 ٪ ايثانول و لكثير من المنظفات، و تكون حساسة للكلور و هايبوكلورايت الصوديوم و الفورمالديهايد و الجلوترالديهايد و الاشعة فوق البنفسجية.

تدخل الفايروسات المعوية الى الجسم عن طريق الفم و تعمل القناة المعوية و الجهاز التنفسي كمواقع رئيسة لتضاعفها، فضلا عن الانسجة اللمفاوية و البلعوم.

اغلب انواع الاصابة بالفايروسات المعوية تكون غير ظاهرة الاعراض (Asymptomatic) و تقريبا 1 ٪ من هذه الاصابات تكون امراضا سريرية منتجة مدى واسع من الاعراض التي تشمل اعراضا شبيهة بالانفلونزا بضمنها الحمى و التوعك والامراض التنفسية والصداع والم في العضلات قد تتطور الى خمج السحايا.

من بين كل الفايروسات المعوية تعد فايروسات Polioviruses المسبب لاكثر الامراض العصبية شدة اذ تسبب الشلل الارتخائي (Flaccid paralysis) الذي يمثل العرض الرئيس للاصابة بها، وهو يصيب الرئيسيات مثل الانسان والحيوانات العليا مثل القرود و الشمبانزي، و هناك ثلاثة انماط مصلية منه. ينتقل عن البرازي – الفموي و يتضاعف في المنطقة الفمية البلعومية (Oropharynx) والقناة المعوية وخصوصا في العقد اللمفاوية ثم ينتشر عن طريق الدم الى الجهاز العصبي المركزي و يتضاعف هناك في النيرونات العصبية الواقعة في القرن الداخلي (Interior horn) للنخاع الشوكي، موت هذه الخلايا يسبب شلل العضلات التي تزودها بالايعازات العصبية ولا يحصل الشلل بسبب اصابة الفايروس للعضلات.

بينما يكون الشلل مؤقتا عند الاصابة بفايروساتCoxsackieviruses B و ترتبط الاصابة بفايروسات Coxsackieviruses A بمرض اليد و القدم و الفم بشكل خاص و بالنسبة لفايروسات Coxsackieviruses B يكون مرض بورنهولم (Bornholme) و خمج الغشاء المحيط بالقلب (Pericarditis) و خمج عضلات القلب (Myocarditis) اكثر الامراض الناجمة عنها، كما تؤدي الاصابة بفايروسات Echoviruses الى خمج المخ (Encephalitis) و متلازمة جولاين-

باريه (Guillain-Barre syndrome) و الفايروس المعوي 70 enterovirus بخمج ملتحمة العين النزفي (Haemorrhagic conjunctivitis) و لا يرتبط اي من الاعراض الناجمة عن الفايروسات المعوية بالاسهال او التقيوء.

تعتمد شدة الاصابة بالفايروسات المعوية على المحتوى الوراثي للفايروس وعلى الجرعة الاولية للاصابة و عمر المريض و استجابته المناعية.

اشار معظم الدراسات الى امكانية تواجد الفايروسات المعوية في المياه الملوثة ببراز الانسان طيلة السنة مع بعض التغايرات الفصلية اذ تزداد تراكيزها في فصلي الصيف و الخريف في نصف الكرة الارضية الشمالي و الارضي.

كشف عن تواجد الفايروسات المعوية في مياه الاستحمام و خصوصا ماء البحر في كثير من اجزاء العالم مثل المملكة المتحدة و اسبانيا و فرنسا و استراليا هولندا و ايطاليا و هاواي و فلوريدا وربما يعزى ذلك الى ان الاطفال المستحمين يتغوطون في هذه المياه، و بذلك ينشرون الفايروسات فيها، كما تم الكشف عن توافرها في المياه الجوفية.

مجموعة فايروسات التهاب الكبد:

يتصف مرض التهاب الكبد باصابة فايروسية و التهاب (Inflammation) يؤديان الى تليف و تشمع الكبد، الفايروسات التي تسببه تسمى بمجموعها فايروسات التهاب الكبد و تشمل و A و B و C و D و E و F واخرى غير معروفة بشكل جيد، كل نوع من هذه الانواع قد يتسبب في مضاعفات اخرى.

ينتقل النوعان A و E عن طريق المياه و الطعام الملوثين في حين يعد النوعان B و C من الممرضات التي تنتقل عن طريق الدم.

فايروس Hepatitis A virus (HAV):

من الفايروسات غير المغلفة بقطر يتراوح من 25 الى 28 نانوميتر حاوٍ على حامض نووي من نوع RNA بطول 7478 قاعدة.

يظهر ثباتا عند pH يبلغ 3 ومقاومة للانزيمات المعوية و لدرجة حرارة 60 مئوي لمدة عشرة ساعات ،ولكنه يثبط عند 100 درجة مئوية بعد دقائق قليلة، و نظرا لكون الفايروس غير مغلف فلا يتاثر بالكلوروفورم او الايثر او الفريون و يبقى حيا لعدة اشهر عند درجة حرارة الغرفة في المياه و المجاري و المحار، و يتاثر بالكلور عند تركيز 2 ملغم لكل لتر بعد 15 دقيقة و كذلك باليود و الاشعة فوق البنفسجية و الايثانول تركيز 70 ٪.

ان مصدر هذا الفايروس في البيئة هو مياه المجاري و ينتشر بوساطة الطريق البرازي الفموي اذ يطلق بتراكيز عالية جدا في غائط الاشخاص المصابين قبل ظهور اليرقان باسبوع و لعدة ايام بعده، خصوصا اذا كانت النظافة الشخصية ضعيفة جدا و الاجراءات الصحية لتعقيم المياه غير متوفرة او قليلة.

عند اصابته الانسان ينتج اعراضا تشمل التوعك (Malaise) و الحمى تتبعها بعدة ايام غثيان و تقيوء و الم في البطن ثم يتحول لون الادرار الى اصفر داكن، و بعدها يظهر اليرقان (Jaundice) الذي قد يبقى لمدة اسبوع الى اسبوعين مصحوبا بالتوعك لمدة شهرين الى ثلاثة اشهر، و لا يتطور هذا المرض الى الحالة المزمنة، وترتبط شدة المرض بالعمر اذ يكون اشد في المرضى البالغين.

ونظرا لكون العاملين في معالجة مياه الفضلة فقد يكونون عرضة للاصابة بفايروس (HAV) خصوصا اذا لم يتم اتباع اجراءات السلامة و الحذر و الاعتناء بالنظافة الشخصية.

يعد HAV من اهم الممرضات المعوية وذلك لعدة اسباب:

1. شدة المرض.
2. العدد الهائل الذي يصل الى المياه و طول المدة التي يطلق فيها الفايروس من الاشخاص المصابين.
3. ثبوتية الفايروس خارج الجسم المضيف.
4. اذا التصق الفايروس بخلية او بجسم صلب فانه يصبح مقاوما لكثير من المطهرات مثل الكلور الحر و الهايبوكلورايت و الكلورامين المستخدمة لتطهير المياه.

يمتلك النوعان B و C مقاومة عالية جدا ضد المنظفات والحرارة العالية فالنوع B يمكنه ان يعيش لشهر واحد على السطوح الجافة، كما ان قدرته على الاصابة و الانتقال الى مضيف اخر اكثر بمئة مرة من فايروس الايدز، و كلا النوعين لا يتاثران بالكحول.

فايروس Hepatitis E virus (HEV)

احدث فايروسات التهاب الكبد اكتشافا يحتوي على حامض نووي من نوع RNA بطول 7500 قاعدة و هو فايروس غير مغلف بقطر 30 نانوميتر لذا يقاوم الايثر و الكلوروفورم ،و لازالت الدراسات تجرى لغرض تحديد مدى حساسيته للكلور و غيرها من المركبات الكيميائية.

يسبب اعراضا تشمل فقدان الشهية و الم في البطن و اليرقان و التي تكون عادة خفيفة و لا تتطور الى الحالة المزمنة، و لكنه قد يكون شديدا على المرأة الحامل بنسبة وفيات تقترب من 20 ٪ و لا يعرف ما الذي يسبب هذه الشدة في المرض لحد الان، و تكون الاعراض اكثر ظهورا في الاشخاص البالغين.

ينتقل عن الطريق البرازي – الفموي و خصوصا الماء و الطعام الملوثين اكثر من التماس المباشر. قليلة هي التقارير التي تؤكد توافره في البيئات الطبيعية.

ارتبط هذا الفايروس بالوباء الذي حدث في الصومال بين العامين 1988 و 1989 نتيجة لاستهلاك ماء النهر بعد امطار كثيفة، و يبدو ان المجتمعات السكانية التي تشرب من مياه الآبار اقل عرضة للاصابة بهذا الفايروس.

فايرسات الروتا Rotaviruses:

تصنف فايروسات الروتا على اساس المجاميع المصلية (Serogroups) و الانواع المصلية (Serotypes) و الاكثر حداثة المجاميع الجينية (Genogroups)، هناك ستة مجاميع مصلية من A الى F و تكون المجموعة A الاكثر شيوعا في احداث الاصابة في البشر، و قسمت الانواع المصلية بالاعتماد على تفاعلات التعادل مستضدات الغلاف البروتيني (Capsid)،اما المجاميع الجينية فقد قسمت الى الانواع G و تضم اربعة عشر مجموعة (G1 – G14) والانواع P (P1A[8]-P1B[4]) و التي تميز بوساطة تقنية RT-PCR.

فايروسات الروتا كبيرة الحجم نسبيا (75 نانوميتر قطرا) عشرونية الاوجه حاوية على ثلاثة اغلفة بروتينية و على 60 شوكة (Spikes)، الحامض النووي من نوع RNA مزدوج الشريط.

يقاوم الايثر و الكلوروفورم و يحافظ على فعاليته في اس هيدروجيني من 3 الى 9 عند 4 درجة مئوي خصوصا اذا حفظ بوجود كلوريد الكالسيوم، يثبط بالفينول والكلور و الايثانول و الفورمالين.

وهو من الفايروسات الشائعة التي تصيب الاطفال دون سن الخامسة ويسبب التقيوء والاسهال الذي يكون مهددا للحياة اذا تطور الى الجفاف الشديد، ينتقل عن

الطريق البرازي – الفموي بفترة حضانة تقدر بثمان و اربعين ساعة، قد يصيب الكبار و لكن يكون غير ظاهر الاعراض اما في كبار السن الراقدين في المستشفى فيتعرضون للاصابة بسبب ضعف المناعة.

فايروس متلازمة نقص المناعة المكتسبة (الايدز):

تؤدي الاصابة بفايروس نقص المناعة الى تدهور كبير في الجهاز المناعي و يتصف هذا التدهور بتحطيم الخلايا اللمفاوية التائية (T – lymphocytes) وفقدان الفعالية العامة للجهاز المناعي و بالتالي فسح المجال للممرضات الانتهازية و الاورام الخبيثة بالانتشار في الجسم و هتكهِ.

يعد هذا الفايروس من الفايروسات الدموية قد يتواجد في المياه و خصوصا مياه المجاري وذلك بسبب وصول السوائل الجسمية الملوثة به مثل الدم و الادرار والسائل المنوي و النفايات الاخرى مثل الواقي الذكري الى تلك المياه، ومع انه لا يوجد دليل او حالة تدل على ان الفايروس ينتقل الى الانسان عن طريق المياه و لكن يجب اتباع الاجراءات الصحية العامة في التعامل مع المياه المحتمل تلوثها بهذا الفايروس، يتاثر هذا الفايروس بسهولة بالمنظفات البيتية مثل هايبوكلورايت الصوديوم.

ثالثاً: الابتدائيات:

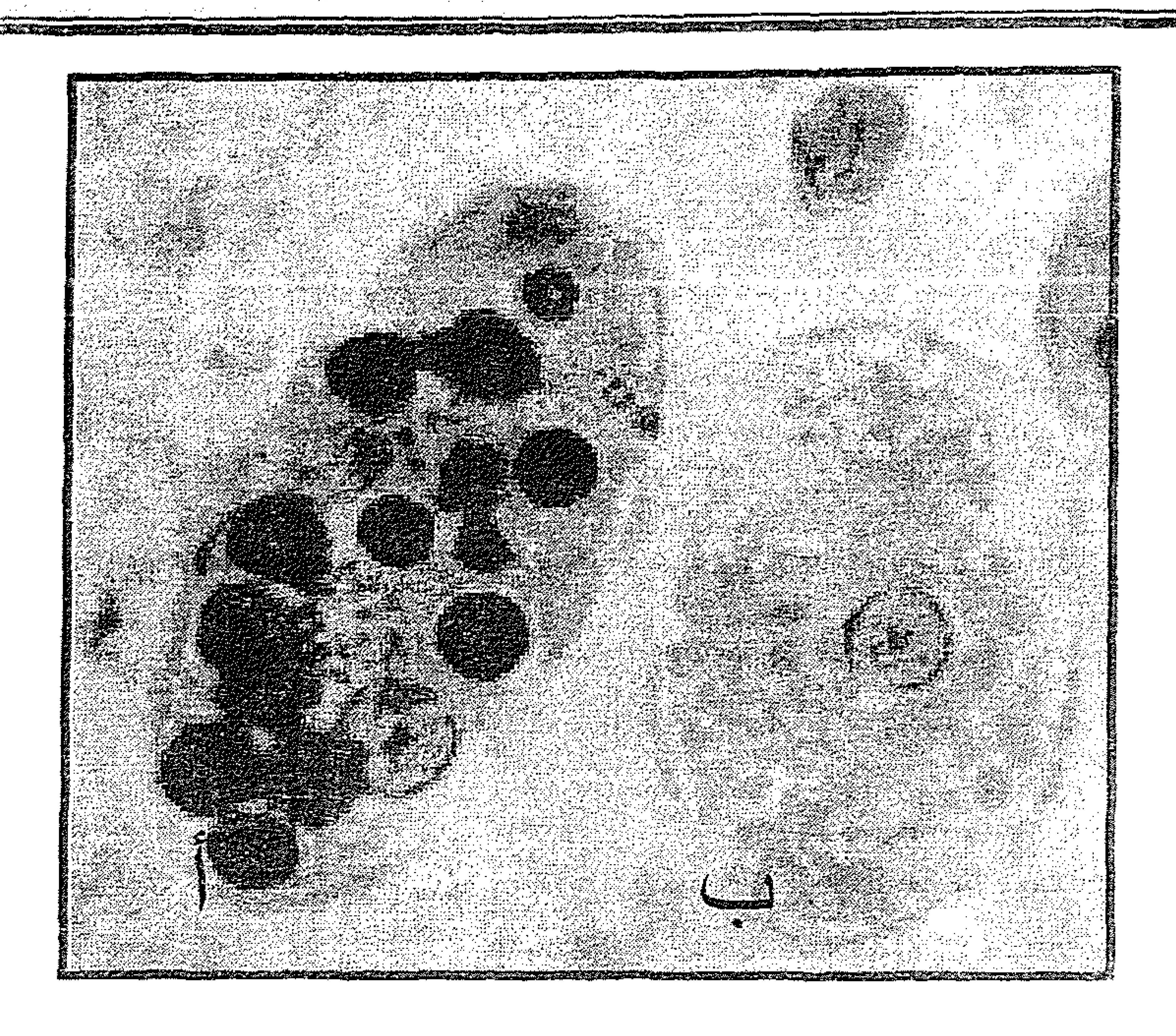
تاتي اصابات القناة الهضمية من الابتدائيات المتواجدة في المياه الملوثة، فمعظم الابتدائيات المتطفلة تكون اكياسا (Cysts) قادرة على العيش في المضائف حيث الظروف قد تكون غير ملائمة التي اذا تحسنت ينبت الكيس الى خلايا خضرية تسمى Trophozoites.

- **Entamoeba histolytica:**

ان الابتدائيات الاميبية العائدة للجنس Entamoeba تعود الى الشعبة Sarcodina والرتبة Amoebida و العائلة Endamoebidae.

وعلى الرغم من ان الكثير من الاميبات (Amoebae) يستوطن القناة المعدية المعوية في الانسان و تشمل انواعا عديدة منها و Entamoeba histolytica و E.coli و E.dispar و E.hartmanni و E.polecki و Chilmastix mesnili و Endolimax nana و Iodamoeba buetschlii، فان اغلبها يكون غير ممرض او في الاقل لازالت امراضيتها مشكوك فيها مثل E.polecki ،وهناك من يتواجد في اماكن غير الامعاء فمثلا تستوطن الاميبا Entamoeba gingivalis الفم و ترتبط بامراض اللثة، و يبقى النوع E. histolytica الاميبا الممرضة الاكثر شيوعا المسببة للزحار الاميبي او ما يعرف Amoebiasis والتي تصيب حوالي 10 ٪ من البشر.

يتميز سايتوبلازم الخلايا الخضرية بانقسامه الى منطقتين خارجية ضيقة شفافة و داخلية محببة حاوية على كريات الدم الحمر او بكتيريا تتحرك بالاقدام الكاذبة (Pseudopodia) (انظر شكل رقم 11).



شكل (11): الطور الخضري للطفيلي Entamoeba histolytica و يظهر فيه خلية ملتهمة لعدد من كريات الدم الحمر (أ) و اخرى خالية تماما (ب).

وصفت دورة حياة E.histolytica لاول مرة من قبل العالم Dobell عام 1928 و ذكر انها تتألف من عدة اطوار: الكيس المعدي (Infective cyst) و ما بعد الكيس (Metacyst) و الطور الخضري مابعد التكيس (Metacystic trophozoite) و الطور الخضري المتغذي المتحرك (Motile feeding trophozoite) و ما قبل الكيس (Precyst)، الشكل الكيسي (10 – 16 مايكروميتر) الذي يظهر في الامعاء فقط يطرح مع البراز و يكون قادرا على البقاء حيا في الماء و الطعام (شكل 12)، تنتقل الاكياس الناضجة الحاوية على اربعة انوية الى الانسان عن طريق ابتلاع المياه و الاطعمة الملوثة بالبراز او عن طريق التماس المباشر، تنشط الاميبات التي بداخل الكيس الناضج بوساطة بيئة الامعاء الدقيقة المتعادلة او القاعدية و تنفصل عن جدار الكيس الذي يتحلل بفعل انزيمات الامعاء الهاضمة، يحصل انقسام نووي و سايتوبلازمي سريع الى ثمانية خلايا خضرية احادية النواة. تهاجر الخلايا الخضرية (20 – 40 مايكروميتر) الى

الامعـاء الغليظـة حيـث تنقـسم بالانـشطارالثنائي و تتغـذى علـى بكتريـا الفلـورا الطبيعيـة في الامعـاء و علـى حطـام الخلايـا (Cell debris)، قـد يُحَفـِّز التكيس (Encystation) بـالظروف الجافـة للامعـاء و تظهـر الاكيـاس الحاويـة كـل منهـا على واحدة الى اربعة انوية التي بدورها تطرح مع البراز فيما بعد.

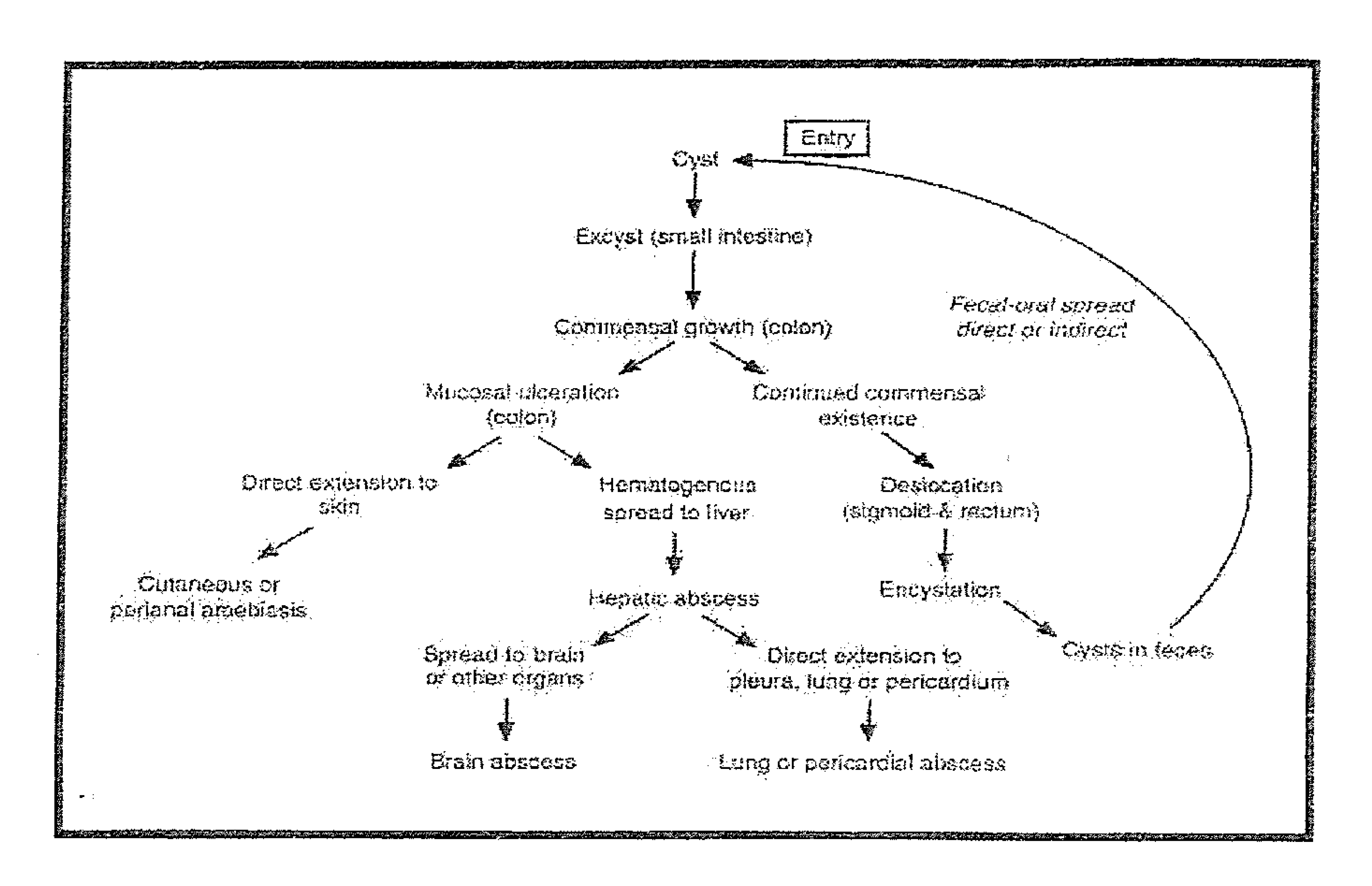


شكل (12): الطور المتكيس لطفيلي Entamoeba histolytica
وتظهر فيه الانوية الاربعة

كمـا ان الخلايـا الخـضرية قـد تطـرح مـع البـراز هـي الاخـرى اثنـاء خمـج القولـون الحـاد فـلا تكـون مـسؤولة عـن نـشر الاصـابة كونهـا لا تتحمـل العـيش خـارج الجسم و تتحطم بالاس الهيدروجيني المنخفض للمعدة وانمـا تحـدث العـدوى بـسبب الاكيـاس النشطة (شكل 13).

تتراوح شدة الاصابة بـ E.histolytica مـن الاصـابة غير ظـاهرة الاعـراض او طرح الاكيـاس الى خمـج القولـون الشرجي (Rectocolitis) و خمـج القولـون غير الزحـاري المزمـن (Chronic non-dysenteric colitis)، يـصيب المـرض الـشديد

الوطأة حوالي 20 ٪ من المرضى، و يظهر مرضى الزحار الاميبي الحاد خلال اسبوع او اسبوعين اسهال مائي حاو على دم و مخاط و الم في البطن و حمى، اكثر المتاثرين به هم الاطفال و النساء الحوامل و مرضى المناعة الضعيفة اذ تتصف الاعراض بالم في البطن و اسهال دموي شديد و حمى و تتجاوز نسبة الوفيات 50 ٪.



شكل (13): مخطط يوضح دورة حياة Entamoeba histolytica

وكما يوحي الاسم فان E.histolytica لها تاثير حال لانسجة المضيف و يبدأ اجتياح (Invasion) الخلايا الخضرية للطبقة المخاطية للامعاء و المعي الاعور (Caecum) و القولون، باستنفاد الطبقة المخاطية و الهضم البروتيني للانسجة مسببا نخرا (Necrosis) لانسجة المضيف وافات ذات شكل دورقي مميز.

على الرغم من الخلايا الخضرية تطرح مع البراز فهي تتحطم بسرعة و اذا ابتلعت لا تتمكن من تحمل البيئة الحامضية في المعدة، ولكن جدار الكيس الواقي يضمن بقاء الكيس حيا، و يشكل استخدام براز الانسان كسماد مصدرا رئيسا للاصابة اذ تتمكن الاكياس من البقاء حية لمدة ثلاثة اشهر اعتمادا على الظروف، كما تتمكن من العيش عند 4 درجة مئوي لمدة 12 اسبوعا في موائل البيض

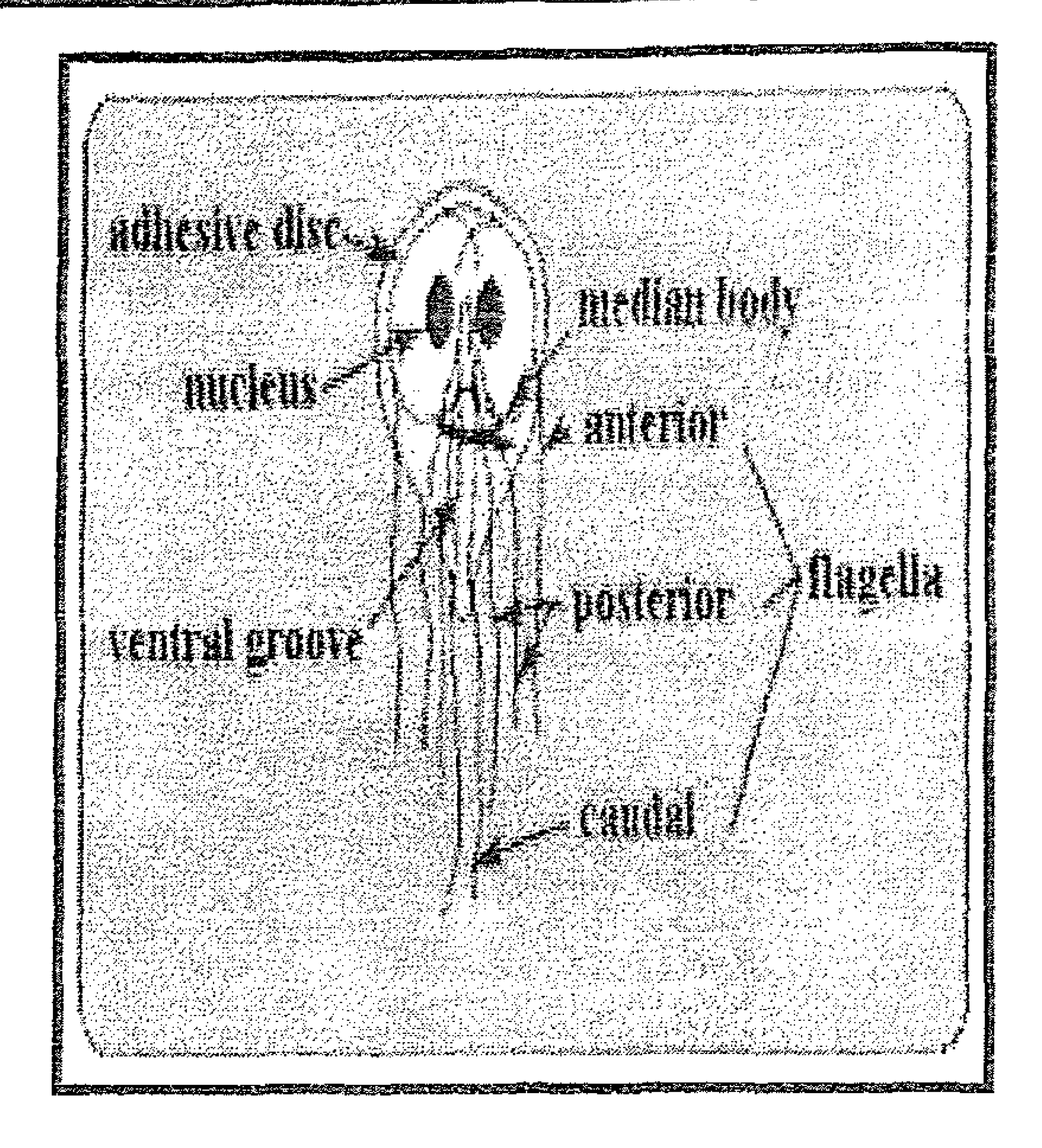
(Egg slant cultures) في حين ان معاملة الاكياس بحرارة 64 درجة مئوية لمدة خمسة دقائق او 100 درجة مئوي لمدة عشرة ثواني او بالكلورة العالية (Hyperchlorination) و المعاملة باليود كفيل بقتلها، ولكن المعاملة بتراكيز الكلور المستعملة في تجهيز المياه العامة لا تجدي نفعا.

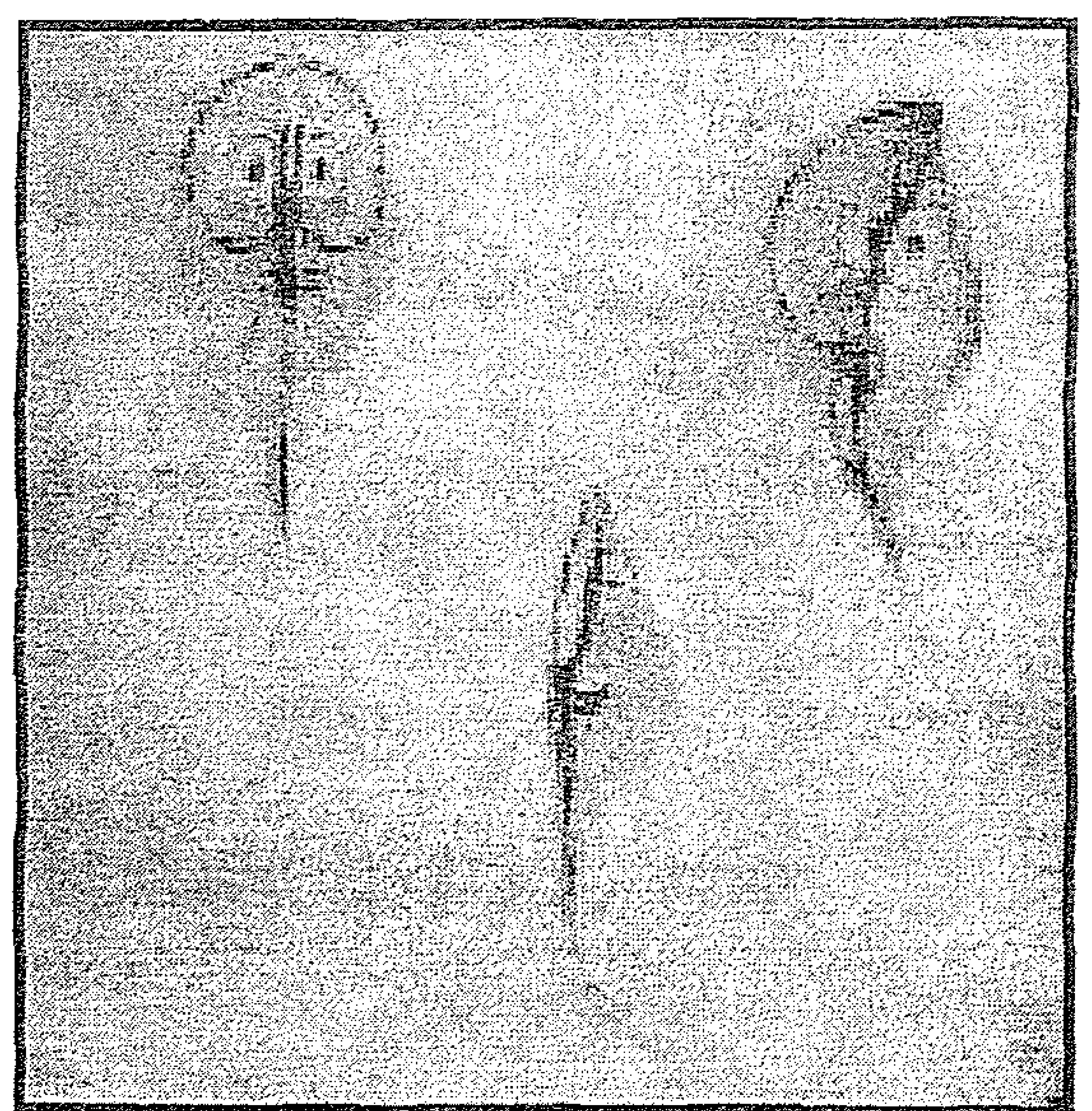
- **Giardia duodenalis:**

ابتدائي مسوط (Flagellated) يعود الى شعبة Sarcomastigophora و رتبة Diplomonadida و عائلة Hexamitidae.

وصف هذا الطفيلي لاول مرة من قبل Leeuwenhoek في العام 1681 عندما قام بفحص برازه ووصف حجمها و شكلها ملاحظا تواجدها يكون مرتبطا باصابته بالاسهال و عاداته في تناول الطعام، ثم قام العالم Lambl بوصفه في العام 1859 و سماه Cercomonas intestinalis،ثم اعطي اسماءً عديدة منها الاسم G. lamblia و G.eterica اللذان اقترحا في العام 1915 و 1920 على التوالي في حين يبقى الاسمان G.duodenalis و G.intestinalis الاكثر دقة من الناحية التصنيفية على الرغم من ان بعض المصادر الطبية تفضل الاسم الاول والبعض الاخر، للاسف، يستخدم الاسم G.lamblia للجيارديا المعزولة حصرا من الانسان، في حين اثبتت الدراسات الوراثية ان بعض الانواع الجينية تتواجد في الانسان والحيوان على حد سواء.

للجيارديا دورة حياة بمرحلتين تتكون من الخلايا الخضرية المسوطة تشبه القلب متناظرة (Symmetric) 10 – 20 مايكروميتر طولا و 5 – 7 مايكروميتر عرضا، له اربعة ازواج من الاسواط ثنائي النواة وخيط محوري (Axostyle) ،وهناك قرص ماص مقعر الشكل يقع في الجزء العلوي للسطح البطني (شكل 14). و كيس ذو شكل متطاول (Ellipsoid) بطول 9 – 12 مايكروميتر (انظر شكل15).





شكل (14): الطور الخضري لطفيلي Giardia duodenalis



شكل (15) الطور المتكيس لطفيلي Giardia duodenalis

تكون الاصابة غير اجتياحية (Non invasive) و تبدأ بعد ان يتم ابتلاع الاكياس المتواجدة في الطعام او شرب المياه الملوثة، او تنتقل الى الجسم عن الطريق البرازي – الفموي، تنبت الاكياس في الامعاء الدقيقة عندما تتحرر الخلايا الخضرية من كل كيس،وهذه العملية تستحث بالبيئة الحامضية للمعدة و حتى خارج الجسم الحي اذا تعرضت الاكياس الى اس هيدروجيني منخفض، و كذلك بالانزيمات الاتية التربسين و الكيموتربسين و سائل البنكرياس، الخلايا الخضرية اما ان تكون حرة داخل تجويف الاثني عشري (Duodenum) او الصائم (Jejunum) او تلتصق بسطح الخلايا المعوية المخاطي بوساطة القرص البطني . تتكاثر الخلايا الخضرية بالانقسام الطولي الثنائي، حالما يمر الطفيلي من الامعاء الدقيقة الى القولون تنضج لتكون اكياسا مقاومة التي تطرح مع البراز و غالبا ما تكتشف في البراز غير الاسهالي (Non-diarrhoeic stool).

تتغاير الاشكال السريرية للاصابة من النقل غير ظاهر الاعراض (Asymptomatic carriage) الى الاسهال الشديد و سوء الامتصاص

(Malabsorption)، و قد يعزى هذا التغاير الى الاختلافات في امراضية العزلات المختلفة و الاستجابة المناعية للاشخاص المصابين.

تشتمل اعراض الاصابة على اسهال و الم في البطن و انتفاخ و غازات و توعك و تجشؤ كبريتي (Sulphurous belching) و غثيان و تقيؤ.

تقاوم الاكياس الظروف البيئية و بالتالي تتمكن من العيش في البيئة المائية سواء في المناطق الحضرية او الريفية. و على الرغم من انها تثبط بالكلور فانها تظهر مقاومة له، كما تظهر مقاومة للاوزون وللاشعة فوق البنفسجية اكثر من البكتريا و اقل من Cryptosporodium، لقد وجد ان الاكياس تتمكن من البقاء حية لمدة ثلاثة اشهر في المياه الباردة و مياه الاسالة (Tap water) كما يمكنها العيش في المياه المعالجة، اظهرت المطهرات الحاوية على الفينول قابلية تثبيطية عالية لاكياس الجيارديا بنسبة 99 ٪ بعد مدة تماس قدرها دقيقة واحدة ، كما ان المطهرات الحاوية على الايودين اكثر فاعلية في تثبيط الاكياس من تلك الحاوية على الكلور مع العلم ان الاولى اظهرت عملها بعد ثمان ساعات من التماس، في حين رفع درجة الماء الى 70 درجة مئوية لمدة عشرة دقائق كان فعالا في القضاء عليها.

رابعاً: الفطريات:

من الممكن ان تتواجد الفطريات في المياه السطحية الملوثة مثل الاجناس Microsporum و Trichophyton و Epidermophyton، وهي فطريات جلدية (Dermatophytes) تغزو الطبقة المتقرنة (Keratinized structure) من الجلد و صولا الى الادمة و الخلايا المولدة، وقد يعود ذلك الى امتلاكها انزيم (Keratinase) الذي يمكنها من اذابة الطبقة المتقرنة و استهلاكها كغذاء.

الفصل السادس

معالجة مياه الفضلة

ما هي مياه الفضلة؟

تطرقنا في فصول سابقة لموضوع مياه المجاري (Sewage) وكيف ان هذه المياه تعد السبب الرئيسي لتلوث المياه ،وذلك لانها تحمل عدد هائل من الملوثات رغم ان هذه الملوثات تختلف باختلاف نوعية مياه المجاري،فهناك عدة انواع من مياه المجاري.

انواع مياه المجاري

أ. التصنيف المعتمد على المصدر

1. تحتوي مياه المجاري المنزلية (Domestic sewage) على كميات كبيرة من المواد البرازية و المخلفات النباتية و الحيوانية و مواد خافضة للشد السطحي و اليوريا، والتي تأتي من المنازل و المرافق العامة (Lavatories) والمنشات الصناعية الامر الذي يفرض تهديدا صحيا و وبائيا.
2. مياه المجاري الصناعية (التقنية) والتي تتكون اثناء مختلف عمليات التصنيع.
3. تحتوي مياه الترسيب (الامطار و مياه ذوبان الجليد) على مختلف الشوائب (Impurities) الجوية (مثل الغبار و الاحياء المجهرية و المواد الغازية) ومخلفات غسل الشوارع و المناطق المعبدة (مثل الزيوت و الوقود السائل والبكتريا و العوالق (Suspensions) والشوائب المايكروبايولوجية (مثل البكتريا و الفايروسات و الفطريات).

ب. التصنيف المعتمد على الضرر

1. الضرر المباشر.
2. الضرر غير المباشر (الذي يؤدي الى خفض مستوى الاوكسجين في المياه تحت مستوى المتطلبات الضرورية للكائنات).

ج. **التصنيف المعتمد على ثبوتية التلوث:**

1. المواد القابلة للتكسير (Degradable) – المواد العضوية التي تتكسر وتتحول الى مركبات ابسط.
2. المواد التي ليس لها قابلية التكسير (Non-degradable) – وهي المواد التي لا تخضع لاي عمليات تحول كيميائية و لا تتحلل بفعل المايكروبات.
3. المواد الصامدة (Stable) – و هي المواد التي تخضع لعمليات التحلل الحياتي بصورة واهية و تبقى في البيئة صامدة و لا تتغير لمدة طويلة من الزمن.

د. **من صنع الانسان**

1. حضرية و منزلية– مصدرها منشات تصنيع الاغذية و المستشفيات و البيوت. تفرض تهديدا وبائيا و صحيا.
2. ريفية – مصدرها المزارع و حضائر الحيوانات و الحقول ذات التسميد المكثف.
3. صناعية – مصدرها كل فروع التصنيع وهذا النوع مصدر رئيس للسموم.
4. المواد الفعالة اشعاعيا – مصدرها المنشات الصحية و العلمية و المفاعلات النووية وهذا النوع من الفضلة ذو خطورة خاصة للبيئة و يتطلب طرائق خزن خاصة.

- **عملية تطهير المجاري:**

في عملية التطهير الطبيعية التي تتم في الأنهار والمحيطات تتحلل المادة العضوية الموجودة في المجاري بواسطة كائنات محللة دقيقة، وفي مياه المجاري عادة توجد كمية كبيرة نسبياً من المواد العضوية التي لا تستطيع الكائنات الدقيقة المحللة من تحليلها بنجاعة، ان عملية تطهير المجاري مشابهة لعملية التنقية الذاتية ، ولكن عملية تطهير المجاري أسرع لأنه يتم إضافة مراحل اصطناعية جديدة ناجحة جداً، من الجدير بالذكر ان 99.9٪ من مياه المجاري هو مياه، بينما 0.1% نفايات صلبة مختلفة، وهذه النفايات تحتوي على مركبات عضوية مثل البروتينيات، وينتج اليوريا وأيضا الكاربوهايدرات والزيوت والصابون، النفايات تحتوي أيضا على أملاح وأيونات، قسم من المواد العضوية والرقائق المتطايرة في مياه

المجاري تميل للترسيب، وقسم منها رقائق دقيقة جداً ومواد مذابة في الماء مثل الأملاح لا تترسب ،ولذلك يجب تطهير وتنظيف مياه المجاري من الملوثات المختلفة.

ان الرقائق المتطايرة الكبيرة نسبياً، والتي يمكن ترسيبها يجب دمجها مع رقائق اكبر منها حتى يمكن ترسيبها أو تحليلها لغازات وفي هذه المرحلة 4 مراحل رئيسية هي :

1. علاج ما قبل التطهير، ويتم التخلص من النفايات الصلبة والثقيلة.
2. علاج أولي ويتم في هذه المرحلة فصل النفايات الصلبة التي ممكن أن تترسب في الماء.
3. مرحلة التطهير الثالثة ويتم فيها أكسدة المواد العضوية بواسطة كائنات دقيقة.
4. مرحلة الرابعة ويتم فيها أكسدة إضافية وهذا العلاج غالي جداً.

لماذا تخضع مياه المجاري للتنقية؟

ازالة الملوثات من مياه الفضلة الصناعية و البلدية قبل ارجاعها الى الجسم المائي المستقبل لها ناتج عن الحاجة الى السياسة و الادارة المناسبة لمخزون المياه والشروط الصحية الكافية و حماية البيئة، و على العكس من ذلك فان ادخال المياه الملوثة الى البيئة المائية قد يؤدي الى انخفاض المعايير الفيزيائية و الكيميائية والصحية، و قد يتسبب في احداث خلل في التوازن البيئي في ذلك المجتمع المائي.

ماهي الاهداف الرئيسة لعملية معالجة مياه الفضلة؟

1. خفض المحتوى العضوي الكاربوني الذي يشمل المركبات صعبة التكسير الحياتي فضلا عن المواد السامة و المواد المسرطنة و المطفرة.
2. التقليل من تركيز المواد الحياتية (Biogenic) مثل الاملاح المعدنية والنتروجين و الفوسفور و بالتالي منع او تثبيط ظاهرة الاثراء الغذائي.

3. طرد او تثبيط الاحياء المجهرية و الطفيليات الممرضة.

ما هي طرائق معالجة مياه الفضلة؟

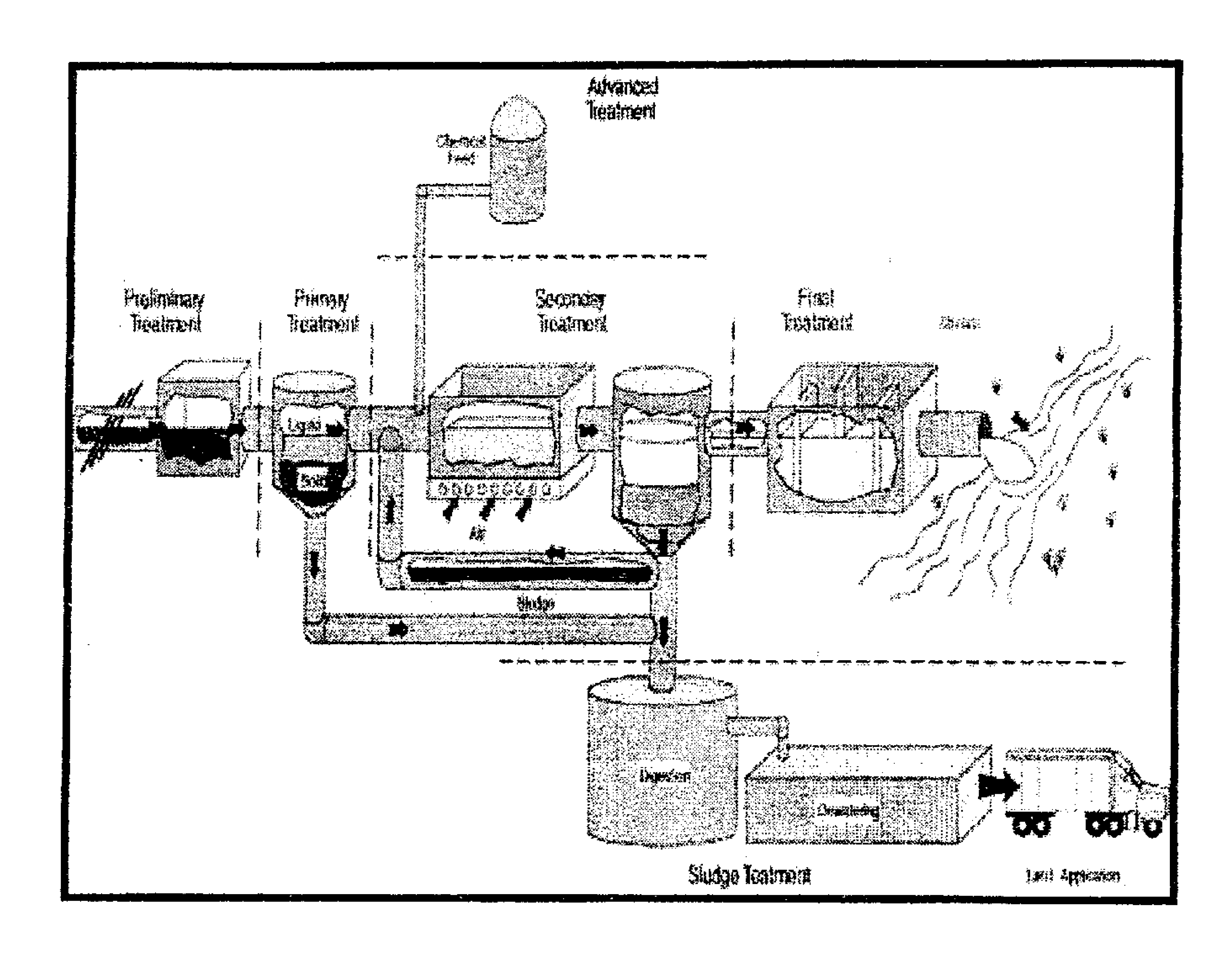
اعتمادا على نوع الملوثات تتغاير طرق المعالجة و التي تصنف الى الية و فيزيائية – كيميائية و كيميائية و حياتية:

1. **الية (Mechanical)**: في هذا النوع من الطرائق تزال الملوثات غير الذائبة فقط مثل الهايدروكاربونات باستخدام احدى الوسائل الاتية: النبذ المركزي (Centrifugation) و الجاذبية (Gravitational) والتطويف (Flotation) والترشيح (Filtration) و الفصل (Separation) التي تسمح بازالة المواد العضوية و المعدنية فضلا عن الاجسام الطافية.
2. **الفيزيائية – الكيميائية (Physical – chemical)**: و تتم باستخدام احدى العمليات الاتية التجلط (Coagulation) والترسيب المرافق (Co-Precipitation) و الامتزاز (Sorption) و التبادل الايوني (Ion exchange) و التحلل الالكتروني (Electrolysis) و الاوزموزية العكسية (Reverse osmosis) و الترشيح الفائق (Ultrafiltration).
3. **الكيميائية (Chemical)**: و تجرى باستخدام الوسائل الاتية: التعادل (Neutralization) و الاكسدة (Oxidation) و الاختزال (Reduction).
4. **الحياتية (Biological)**: و تتألف من تنقية المجاري (ازالة الملوثات العضوية و الحياتية و غيرها) اثناء عمليات التعدين البايوكيميائية التي تجرى طبيعيا بوساطة الاحياء المجهرية في البيئة المائية.

ماهي المراحل النموذجية لمعالجة مياه المجاري؟

العملية النموذجية لمعالجة مياه المجاري تتألف من اربعة مراحل من التنقية انظر شكل رقم (16):

1. الية (Mechanical): تمثل المرحلة الاولى من التنقية.
2. حياتية (Biological) : تمثل المرحلة الثانية من التنقية.
3. التخلص من المركبات المولدة للحياة (Biogenic compounds): تمثل المرحلة الثالثة من التنقية.
4. اعادة استعمال المياه و تجديدها (Renovation of water): تمثل المرحلة الرابعة من التنقية.



شكل (16): مخطط يوضح مراحل معالجة مياه الفضلة

- **المرحلة الاولى(المعالجة الابتدائية Primary treatment):**

وتسمى ايضا بالتنقية الالية او الميكانيكية كونها تتم بمساعدة الالات والمكائن، وهدفها ازالة الشوائب الصلبة و تعد هذه المرحلة عملية اعداد و تحضير مياه المجاري لتنقية اكثر، باستخدام العمليات الالية البسيطة فمن الممكن ان يتم التخلص من الشوائب الاتية:

- الشوائب الصلبة الطافية.
- العوالق المستقرة (Settling suspensions).
- الزيوت و الدهون و الشحوم.

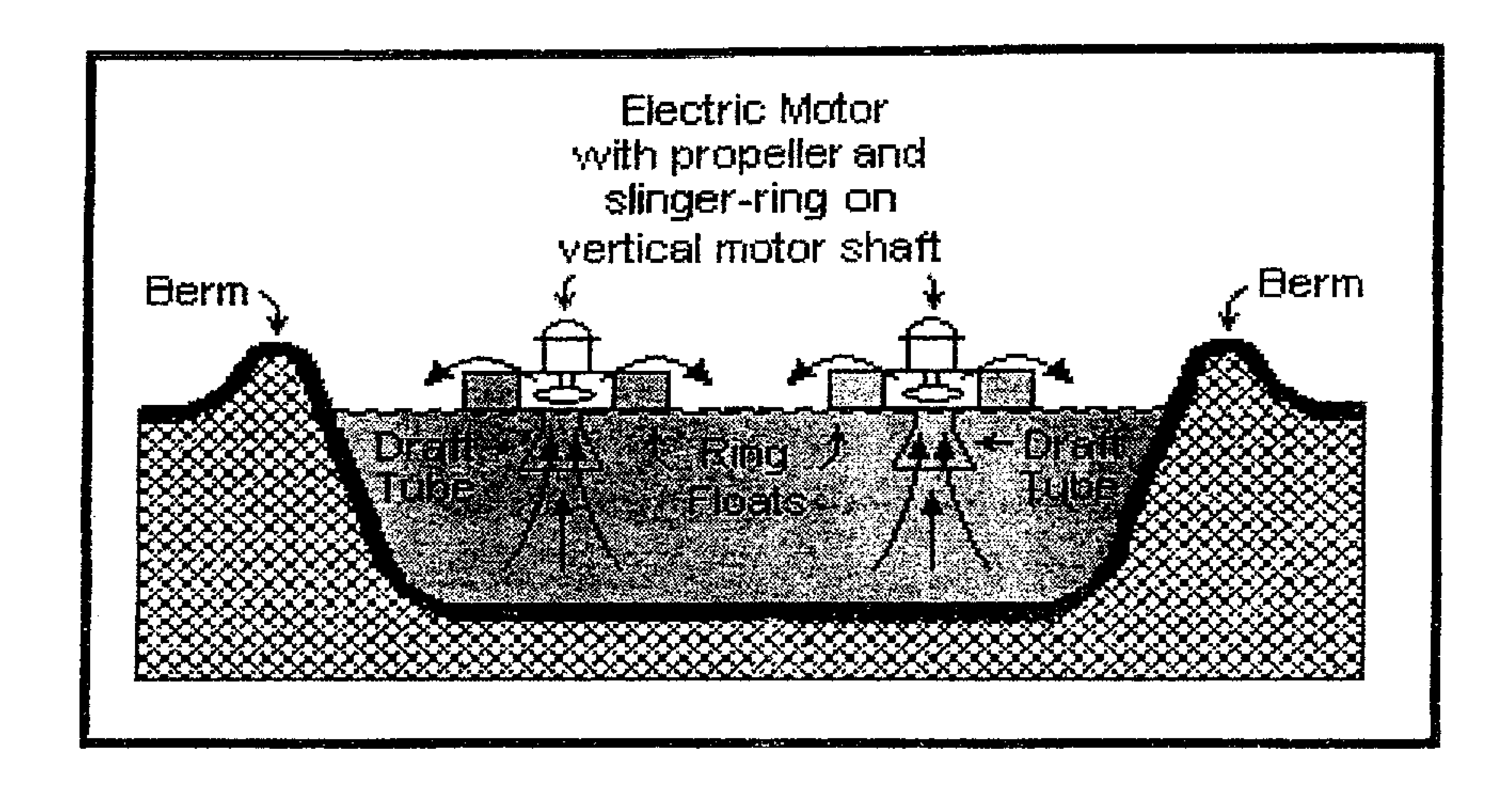
احياناً، تضاف كبريتات الالمنيوم او كبريتات الحديدوز او غيرها لجمع الدقائق و بذلك تترسب اسرع.

- **المرحلة الثانية (المعالجة الثانوية Secondary treatment):**

وتشتمل على التنقية الحياتية التي تؤدي الى التكسير الحياتي للشوائب العضوية الذائبة و الانظمة الغروية و العوالق التي لم يتم التخلص منها في المرحلة الاولى، وبذلك تؤدي الى خفض مستوى الطلب الحياتي للاوكسجين (BOD)، وتستحصل عملية تكثيف التنقية باستخدام مرشحات الوشل (Trickling filters) و الحمأة المنشطة (Activated sludge).

الاليات التي بوساطتها تقوم مجتمعات الاحياء المجهرية بتثبيت مياه المجاري في اغلب محطات معالجة مياه الفضلة تدعى طريقة الحمأة المُنَشَّطة (Activated sludge method) في هذه المعاملة تعمل مياه المجاري كمصادر غذائية لخليط من الاحياء المجهرية الهوائية المتكيفة للمعيشة فيه اذ تنمو على شكل تكتلات، و على الرغم من انها تتواجد هناك طبيعيا، يعمد الى تلقيح اعداد كبيرة منها في الفضلة عن طريق ترك اجزاء صغيرة من الحمأة المتبقية من الوجبة السابقة، يجهز الاوكسجين عن طريق خلط مياه المجاري بوساطة مزود الهواء (Aerator)(شكل 17)، معظم المواد العضوية القابلة للتحلل حياتيا (Biologically degradable organic materials) تتحول الى غازات او مركبات مؤكسدة، و نسبة صغيرة منها تدمج مع مكونات الخلية للاحياء المجهرية النامية في مياه المجاري، هذه العملية غالبا ما تكون الاكثر اقناعا في معالجة مياه

المجاري و لكنها قد تكون غير فعالة تماما اذا تواجدت المخلفات الصناعية السامة التي تسمم المجتمعات المايكروبية.



شكل (17): مزود الهواء (Aerator)

بعد ان تستهلك البكتريا و الفطريات مغذيات معينة في معالجة مياه المجاري، تعمل هي ذاتها كغذاء للهدبيات و الابتدائيات و الاحياء الاخرى، و تكون المحصلة النهائية هي زيادة صغيرة في كتلة الاحياء المتواجدة في كمية معينة من مياه المجاري المعالجة، و انخفاض كبير في كمية المواد العضوية القابلة للتحلل الحياتي ثم ينقل الكتلة الحياتية الفائضة الى الهاضم (Digester) و تترك كمية صغيرة منها كلقاح للوجبة اللاحقة.

داخل الهاضم، تعمل الاحياء اللاهوائية على المواد الصلبة المتبقية في مياه المجاري بعد معاملتها هوائيا، يوفر الهاضم تحولا لاهوائيا للمادة العضوية الى مادة لاعضوية و يزيل الماء من الفضلة و بذلك تتبقى فيه كمية قليلة من المواد الصلبة، تعمل مختلف المجتمعات المايكروبية بالتعاقب في الهاضم فتقوم الاحياء المولدة للميثان بدورها بتحويل الاحماض العضوية البسيطة في مياه المجاري الى نواتج نهائية مفيدة مثل الميثان، و الكثير من محطات معالجة مياه المجاري تجهز بمعدات

للاستفادة من الميثان الناتج كمصدر للطاقة و بذلك تتجنب الكلفة الاضافية لمصادر طاقة اخرى لتشغيل معداتها.

تستبعد البكتريا المرضة من مياه المجاري بصورة عامة اثناء المعالجة الثانوية و لكن تبقى الفايروسات المرضة حية، تشكل الاحياء المجهرية المرضة نسبة ضئيلة من مجموع الاحياء المتواجدة في البراز، و تخفف بشكل كبير في مياه المجاري خلال المعالجة الثانوية، تضطر هذه الكائنات المرضة ان تتنافس للحصول على المغذيات مع الاعداد الهائلة للبكتريا المتواجدة و المتكيفة للمعيشة عند الظروف البيئية الموَفَّرة، و بالتالي فان معظم البكتريا المرضة سوف تقصى بسرعة من قبل المنافسين، الفايروسات الحيوانية فاقدة للخلايا المضيفة المناسبة و بالتالي لا تتمكن من التضاعف على الرغم من انها قد تبقى حية لمدة طويلة، اذا تواجدت كميات كبيرة من الفايروسات في مياه المجاري الخام فان قسما منها قد يبقى بعد المعالجة الثانوية على الرغم من مياه المجاري تكلور (Chlorinated) قبل ان ترمى الى الجسم المائي المستقبل، ان المعاملة بالكلور لا يثبط الفايروسات في هذه المرحلة نظرا لكون الفايروسات عادة تحاط بتجمعات صغيرة من المواد المتدفقة حيث تكون محمية من فعل الكلور، و بسبب ان الفايروسات تلتصق بالدقائق الكبيرة فيمكن ازالتها مع المواد الصلبة الاخرى.

- **المرحلة الثالثة (المعالجة الثالثية Tertiary treatment):**

تتضمن هذه المرحلة العمليات المستخدمة للتنظيف الدقيق لمياه المجاري، اذ تزال اهم الشوائب اثناء هذه العملية، و هي المركبات المولدة للحياة (مركبات الفوسفور و النتروجين) اذ تتبقى كميات كبيرة من النترات و الفوسفات في مياه المجاري بعد المعالجة الثانوية التي قد تزيد من نمو الاحياء المجهرية مؤدية الى استنفاد الاوكسجين تدريجيا و لهذا فهي تشكل تهديدا للاحياء المائية الاخرى، ولهذا السبب تهدف هذه المرحلة من المعالجة الحد من هذه المشكلة.

تزال المركبات النتروجينية بوساطة عملية النترتة الحياتية و الدنترة حيث تعمل بعض الاجناس البكتيرية مثل Bacillus و Pseudomonas باختزال النترات الى غاز النتروجين الخامل غير السام و الذي تسهل ازالته.

بينما تزال المركبات الفوسفورية بوساطة عمليات الترسيب الكيميائية باضافة املاح الحديد (مثل كلوريد الحديديك) او املاح الالمنيوم (مثل الشب)، او من الممكن ازالة الفوسفور حياتيا بعملية تدعى ازالة الفوسفور المعززة حياتيا (Enhanced biological phosphorous removal)، حيث تضاف بكتريا معينة تسمى البكتريا الجامعة لعديد الفوسفات (Polyphosphate accumulating bacteria) وتقوم هذه البكتريا بتجميع كميات كبيرة من الفوسفور داخل خلاياها (تصل الى 20 ٪ من كتلتها) و عندما تفصل الكتلة الحياتية الغنية بهذه البكتريا من المياه المعالجة ستكون ذات قيمة سمادية عالية.

- **المرحلة الرابعة من التنقية (اعادة استعمال و تجديد المياه):**

تتضمن عمليات ازالة الملوثات المتبقية من المراحل السابقة، وتشمل مجموعة من الطرائق التي تنقل مواصفات المياه الطبيعية الى مياه المجاري لغرض استخدامها مرة اخرى من قبل المنشات الصناعية، يتيح تجديد المياه (Regeneration) تدوير (Recycling) مياه المجاري الذي يمثل عنصرا مهما في عمليات توفير مصادر المياه خصوصا في المناطق الشحيحة بالمياه، هناك عدة انظمة لتجديد المياه من البسيطة جدا التي تستخدم المرشحات السريعة او الضخ عبر مناخل دقيقة (Micro sieves) الى العمليات الفيزيائية – الكيميائية المعقدة جدا مثل التجلط و الانظمة الغشائية و التطهير و الترسيب و طرد الامونيا و اعادة الكربنة (Recarbonization) و الامتزاز و التبادل الايوني و نزع المعادن من المياه (Water demineralization).

التطهير Disinfection:

التطهير عملية كيميائية الهدف منها السيطرة على الاحياء المجهرية المرضة عن طريق قتلها او تثبيطها عند معالجة مياه الفضلة بصورة اساسية كي تصرف مرة اخرى الى البيئة، و تعتمد كفاءة التطهير على نوعية و مواصفات المياه المطلوب تطهيرها (العكارة و الاس الهيدروجيني و غيرها) و نوعية المطهر المستخدم ومقدار جرعته (التركيز و المدة)، من الطرائق الشائعة للتطهير استخدام الاوزون والكلور و الاشعة فوق البنفسجية في حين يستخدم الكلورامين في مياه الشرب ولا يستخدم في معالجة مياه الفضلة بسبب بقاءه و ثباته.

تفضل عملية الكلورة (Chlorination) على غيرها من الطرائق بسبب انخفاض كلفتها و كفائتها المثبتة منذ امد بعيد ،فقد انقذت مئات الالاف من ارواح البشر، و لكن هناك مثلبة واحدة وهي كلورة المواد العضوية المتبقية ممكن ان ينتج مركبات عضوية مكلورة قد تكون مسرطنة او مضرة للبيئة.

الية عمل الكلور كمطهر:

يتفاعل الكلور او اي من مشتقاته مع الماء مكونا حامض الهايبوكلوروس (Hypochlorous acid) كما في المعادلة الاتية:

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HOCl \text{ (hypochlorous acid)}$$

حامض الهايبوكلوروس مركب غير مستقر سرعان ما يتفكك مكونا الاوكسجين الذري :

$$HOCl \rightarrow HCl + O$$

هذا الاوكسجين الذري المتكون حديثا من العوامل المؤكسدة القوية اذ يؤكسد البروتينات و يمسخ (Denatures) انزيمات الخلية المهمة، في حين يعد تحطيم الخلايا المايكروبية بالتماس المباشر للكلور مع الغشاء السايتوبلازمي ، فعلا ثانويا للكلورة.

يعرف كل من حامض الهايبوكلوروس (HOCl المتعادل كهربائيا) وايون الهايبوكلورايت (OCl سالب الشحنة) بالكلور الحر اللذان يسلكان سلوكا مختلفا تماما، لا يكون حامض الهايبوكلوروس اكثر فاعلية من ايون الهايبوكلورايت فحسب و لكنه اقوى كمطهر و كعامل مؤكسد، تتحدد نسبة حامض الهايبوكلوروس الى ايون الهايبوكلورايت بوساطة الاس الهيدروجيني ففي الاس الهيدروجيني الحامضي يسود الاول بينما في الاس الهيدروجيني القاعدي يكون الثاني هو السائد، اي بمعنى اخر تتاثر عملية التطهير بالاس الهيدروجيني للمياه المطلوب معالجتها، تعمل البكتريا و الفايروسات اهدافا سهلة للكلور ضمن مدى واسع من الاس الهيدروجيني لذا يعمد العاملون في مجال تطهير مياه الفضلة الى تعديل الاس الهيدروجيني بما يتلائم و القضاء على طفيلي Giardia و ذلك بتغليب حامض الهايبوكلوروس نظرا لكون هذا الطفيلي اكثر مقاومة للكلور من البكتريا و الفايروسات، و هناك سبب اخر لتفضيل سيادة حامض الهايبوكلوروس اثناء المعالجة لكون سطوح الاحياء المجهرية المرضة مشحونة طبيعيا بشحنة سالبة لذا فهي تخترق بسهولة من قبل حامض الهايبوكلوروس المتعادل الشحنة بمعدل اكبر من ايون الهايبوكلورايت ذو الشحنة السالبة.

ولسوء الحظ ظهر الكثير من الاحياء المجهرية المرضة المقاومة للكلور وغالبا ما تتواجد في المياه بعد عمليات المعالجة، و تكون من مختلف الاحياء المجهرية من بكتريا و فايروسات و ابتدائيات التي تسبب اخماجا مختلفة في الكبد و الامعاء و غيرها.

من الممكن استخدام الاشعة فوق البنفسجية بدلا عن الكلور او بقية المواد الكيميائية، تتسبب الاشعة فوق البنفسجية في احداث ضرر للمحتوى الوراثي للاحياء المجهرية و جعلها غير قادرة على التكاثر و لكن من مساوئ هذه الطريقة انها تحتاج الى صيانة دائمة لمصباح الاشعة و استبداله بين فترة و اخرى، و كذلك يجب ان تكون المياه المراد تعقيمها خالية من الشوائب العالقة كي لا تحتمي بها

الاحياء المجهرية و بالتالي تكون بعيدة عن مرمى الاشعة، هذه الطريقة هي الاكثر شيوعا في المملكة المتحدة و كندا.

التطهير بالاوزون:

يتولد الاوزون من تسليط فرق جهد عال على الاوكسجين مما يؤدي الى التصاقها بعضها بالبعض الاخر مكونا الاوزون (O_3) الذي يكون غير مستقرا بشكل كبير فيتفكك الى الاوكسجين الذري الذي يؤكسد معظم المواد العضوية التي تكون بتماس معه و بذلك يقتل الكثير من الاحياء المجهرية المرضة.

$$O_3 \rightarrow O_2 + O$$

يعد الاوزون اكثر امانا من الكلور نظرا لكونه يصنع عند الحاجة بخلاف الكلور الذي يجب ان يخزن بحذر شديد لسميته الشديدة، كما ان التعقيم بالاوزون يخلف نواتج تعقيم عرضية اقل من عملية الكلورة، و لكن تبقى الكلفة العالية للمعدات التي تصنع الاوزون فضلا عن المهارة العالية للعاملين، من اهم محددات و مساوئ استخدامه.

الطرائق الحياتية لمعالجة مياه الفضلة:

في الطرائق الحياتية لمعالجة مياه المجاري تلعب مجاميع بكتريا Zooglea دورا فعالا، طرائق التنقية الحياتية لمياه المجاري تتكون من حث العمليات الانزيمية للاحياء المجهرية رمية التغذية التي تشمل الاكسدة الجزئية للمواد العضوية (مصادر الكاربون) الموجودة في مياه المجاري، و كذلك تمثيلها الجزئي (Partial assimilation) بوساطة الاحياء المجهرية، نتيجة لهذه العمليات تحصل زيادة في كتلة خلايا الاحياء المجهرية الفعالة، تنتعش الاحياء المجهرية عندما تصل نسب ثلاثة عناصر مهمة الى C:N:P = 100:10:1.

تقسم عمليات التنقية الحياتية للتعقيم الى عمليات طبيعية و اخرى صناعية، اعتمادا على مكان حدوث العملية المعنية سواء حدثت في الظروف الطبيعية او في تلك المحفزة عن قصد في معدات مصطنعة مصممة خصيصا.

من الممكن اجراء التنقية الحياتية عند الظروف الغنية بالاوكسجين او الفقيرة به او بغيابه و هي عبارة عن عمليات اكسدة و معدنة (Mineralization) للمواد العضوية من مياه المجاري باستخدام الاحياء المجهرية و الاحياء الاخرى.

اثناء التنقية الحياتية تحصل الظواهر الاتية:

- تكسير المواد العضوية الى ثنائي اوكسيد الكاربون و الماء و الامونيا (اعتمادا على الاس الهيدروجيني).
- النترتة (اكسدة الامونيا بوساطة بكتريا Nitrosomonas الى النتريت و من ثم الى النترات بوساطة بكتريا Nitrobacter).
- الدنترة (تحول النترات الى غاز النتروجين).

اولا: الطرائق الطبيعية:

وتشمل التنقية في التربة و ارواء الغابات او الحقول و مرشحات التربة.

- **التنقية في التربة:**

تتم هذه العملية بسقي حقل معين بمياه المجاري فالمواد المولدة للحياة المتواجدة في مياه المجاري تؤدي الى معدل زيادة في الحاصل تقدر بحوالي 20 ٪. بعد نشر مياه المجاري تنساب الى التربة و بذلك تمتز الشوائب على دقائق التربة.

قبل ادخال مياه المجاري الى التربة يجب ان تخضع الى تنقية الية (القشط و فخاخ الرمل و احواض التركيد الاولية) ثم تطهر، كما ان التربة المسقية تخضع لفحص محتواها من المعادن، سقي الحقول ممكن ان يتم فقط اثناء فترة الزراعة وكمية مياه المجاري المضافة يجب ان تتغير باختلاف الفصول.

بعد مدة معينة المركبات العضوية الممتزة و الاحياء المجهرية تكون غشاء مجهريا (Microscopic film) حول دقائق التربة و تعمل طبقة سطح التربة وكأنها مرشح حياتي، الناتج النهائي لعملية المعدنة يحصل في هذه الطبقة و يعمل كسماد (Fertilizer) للتربة.

يمكن ان تنقى كمية محدودة من مياه المجاري بهذه الطريقة و الا فان الحقل سوف يحمل بشكل مفرط بمياه المجاري و بالتالي فان العمليات اللاهوائية سوف تتحفز و سيرافقها تكوين مواد ضارة و روائح كريهة تؤدي بالنهاية الى وقف نمو النباتات.

ويجب ان تطهر هذه المياه من بيوض الديدان الخيطية قبل السقي بمياه المجاري وذلك لاسباب صحية.

اثناء عملية الترشيح بالتربة تنقى مياه المجاري و تحمل الى الجسم المائي المستقبل لها بنظام صرف مائي.

مرشحات التربة:

تجرى عملية التنقية بمرشحات التربة (Soil filters) بنشر الفضلة على سطح التربة مما يؤدي الى تنقيتها حياتيا، غالبا تستغل الحقول غير القابلة للزرع لاجراء هكذا عمليات تنقية، انتفاء الاستخدام الزراعي يتيح استهلاك اكبر كمية ممكنة من مياه المجاري و تعد الترب الرملية المفككة ذات الدقائق المعدنية التي تتراوح اقطارها من 0.2 – 0.5 مليميتر و سمكها يتراوح من 1.5 – 2 متر و ذات محتوى متدني من المياه الجوفية من افضل الترب المستخدمة للتنقية.

قبل صب مياه المجاري على سطح التربة، يجب ان تنظف اليا لاستبعاد العوالق الزيتية التي تعرقل مصدر الصب، يتم صرف مياه الفضلة التي تم تنقيتها عن طريق نظام صرف مثبت على الارض.

- **برك مياه الفضلة:**

عبارة عن خزانات (Rservoirs) ارضية يحصل فيها تنقية حياتية طبيعية تلعب المايكرويات المستهلكة دورا فعالا فيها و لهذا فهي تستخدم في المدن الصغيرة، وتكون على نوعين برك طبيعية و اخرى خزانات ارضية صناعية.

تقوم البكتريا باكسدة المواد العضوية و معدنتها اي تحويلها الى مركبات غير عضوية تعرف بالاملاح الحياتية (Biogenic salts).

مياه المجاري المنقاة بهذه الطريقة توجه الى برك طحلبية حيث تزدهر هناك و تقوم بتمثيل المركبات المعدنية التي تكونت اثناء عملية التكسير الحياتي.

المرحلة النهائية لهذه العملية تتم في البرك القشرية (ponds Crustacean) حيث تزدهر القشريات المتغذية على الطحالب، هكذا عمليات تنقية لا تتيح التخلص من المواد العضوية فقط بل من المواد المولدة للحياة الفائضة، و التي بتواجدها في الجسم المائي المستقبل لمياه المجاري المنقاة قد يسبب في ظاهرة الاثراء الغذائي و ازدهار المياه مما يخفض من مستوى الاوكسجين في تلك المياه، كما يمكن ان تستخدم هذه البرك في تغذية الاسماك و البط دون الحاجة الى التغذية الصناعية.

ثانيا: الطرائق الصناعية:

- **مرشحات الوشل Trickling filters:**

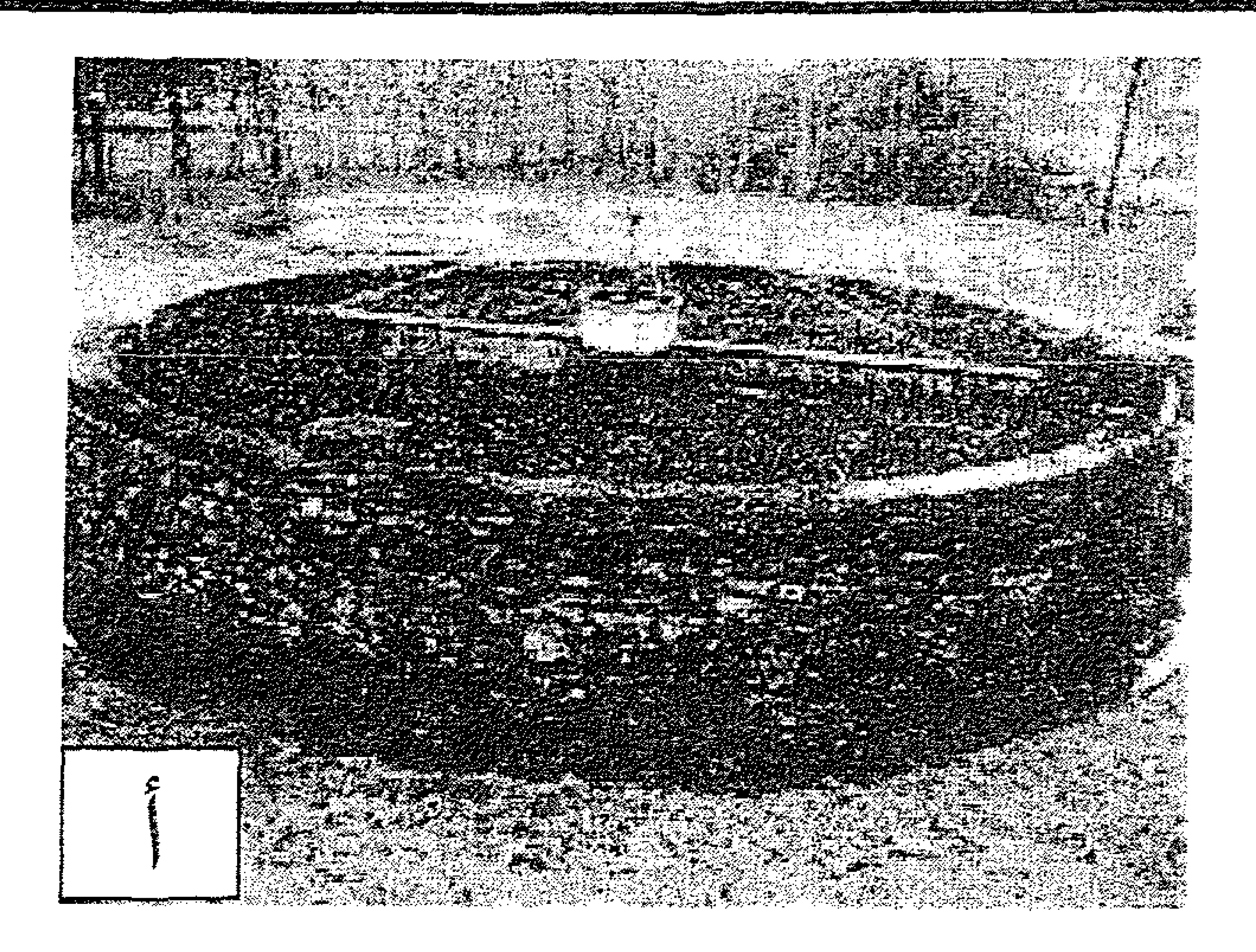
تجرى معالجة مياه المجاري بمرشحات الوشل (شكل 18) في خزانات تملأ بمادة حبيبية مفككة مثقبة (Porous) و يتم رش مياه المجاري على الطبقة العلوية من الفرشة و تترك لتنساب خلال الفراغات الى الداخل.

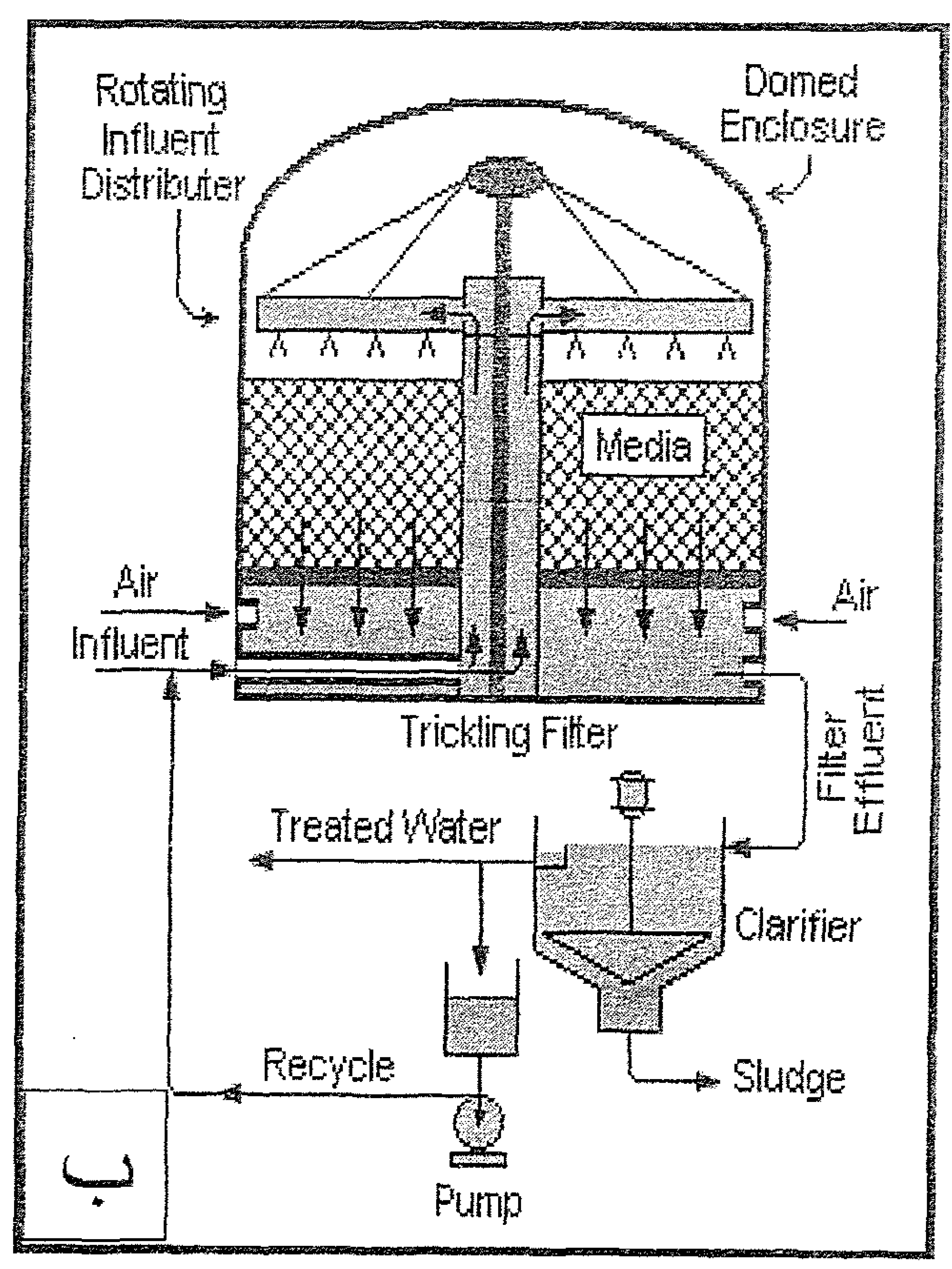
يتكون غشاء حياتي مخاطي على محتويات الفرشة الذي يتألف من احياء مجهرية مختلفة مثل البكتريا و الابتدائيات و الفطريات، تخضع مياه المجاري اثناء جريانها الى عمليات المعدنة بسبب التحلل الهوائي بوساطة الاحياء المجهرية.

يتضمن الغشاء الحياتي المتكون اساسا من بكتريا Zooglea المنتجة للمخاط (Mucous)، بمرور الوقت تركيبة الانواع للغشاء المخاطي يتغير بسبب تعاقبها فالى جانب البكتريا تظهر الفطريات و الابتدائيات و annelida ويرقات الذباب، اعتمادا على كمية مياه المجاري المعالجة تقسم مرشحات الوشل الى مرشحات تقطير (Percolating filters) ومرشحات الدفق (Flushing filters).

اعتمادا على كمية المواد العضوية المحملة تتواجد الانواع الاتية من المرشحات الحياتية:

1. **التحميل القليل:** قد تملأ بمواد طبيعية او صناعية، في مرشحات التقطير يتكون الغشاء بسرعة و العمليات الحياتية للتحلل غالبا ما تكون مكتملة. في الطور الاخير من التنقية تحصل عمليات نترتة مكثفة تؤدي الى زيادة في كمية النترات.
2. **التحميل المتوسط:** تملأ بمواد نصف طبيعية (طبيعية – مصنعة) و لضمان تركيز كاف من مياه المجاري المجهزة يتم اعادة تدوير جزء من مياه المجاري المنقاة بهذا النوع من المرشحات، يتم اختزال المركبات العضوية على هذه المرشحات يكون كافيا و عمليات النترتة تحصل جزئيا كما ان ادخال عمليات تنقية اضافية يكون غير ضروريا.





شكل (18): مرشحات الوشل (Trickling filters)

أ. في الموقع.

ب. رسم تخطيطي.

3. **التحميل العالي:** تملأ بمواد نصف طبيعية، في مرشحات الدفق تكون كثافة مياه المجاري كبيرة في حين يتالف الغشاء الحياتي بصورة كلية من البكتريا و بشكل اقل من الحالات السابقة، جريان مياه المجاري يغسل المواد الحياتية المستعملة و الميتة من المرشحات، و تنتقل المواد المغسولة على هيئة ترسبات متكتلة، فقط المعدنة الجزئية للمواد العضوية تحدث على هذا النوع من المرشحات و تثبط عمليات النترتة، كمية قليلة من النترات تخرج من المرشحات.

الحماة المنشطة Activated sludge:

تعتمد عملية الحمأة المنشطة على تنقية مياه المجاري بالتعليق الحر للمادة و تتكون من انتاج 50 – 100 مايكروميتر من التكتلات (Flocs) ذات المساحة السطحية العالية، و تتالف هذه التكتلات من نواة معدنية بنية اللون تحتوي على سطحها بكتريا مختلفة التغذية ضمن اغلفة مخاطية، تتطلب طريقة الحمأة المنشطة كمية كافية من الاوكسجين لغرض الاكسدة الهوائية للملوثات العضوية.

- **طرق متقدمة لمعالجة مشكلة التلوث بالعناصر الثقيلة:**

تعمل الصناعة على تجهيز البيئة المائية بتراكيز عالية العناصر الثقيلة؛ وذلك لاستخدامها في العديد من الصناعات مثل: عمليات تكرير النفط الخام وانتاج المخصبات.

والعناصر الثقيلة هي تلك العناصر او اشباه الفلزات ذات الاستقرارية العالية التي تمتلك كثافة اعلى من (4.5) غم/سم^{3} وأعداد ذرية عالية تتراوح بين (22- 52)، وقد صنفت العناصر عموما الى ثلاث مجموعات أستناداً لعلاقتها بالكائنات الحية وهي:

الاولى: العناصر الاساسية (Essential elements) للكائنات الحية مثل: المغنيسيوم، و الصوديوم، و البوتاسيوم، والكالسيوم، والفسفور، والنتروجين، والكربون، وا لهيدروجين، والكلور.

الثانية: تشمل ايونات العناصر السامة وهي غير ضرورية (-Non) essential elements للكائنات الحية وهي العناصر الثقيلة مثل: الرصاص، والكادميوم، والزئبق، والزرنيخ.

الثالثة: العناصر النادرة (Trace elements) وتشمل الحديد، و المنغنيز، والنحاس، والخارصين، واليود، والمنغنيز، والكوبلت، والسيلينيوم، والكروم التي يكون لها دور مهم للكائنات الحية ولكنها تظهر تأثيراً ساماً اذا وجدت بتراكيز تفوق حاجة الكائن الحي.

تحتاج الكثير من الكائنات الحية مثل اللبائن الى بعض العناصرالنادرة بتراكيز ضئيلة جدا لاتمام التركيب الكيميائي للانزيمات او أية مواد حياتية اخرى، ومن الامثلة على هذه العناصر: النحاس، والحديد، والخارصين، و اليود، والمنغنيز، والكوبلت، والسيلينيوم، والكروم.

لقد أثبت العديد من الدراسات الحديثة ان بعض العناصر تكون ضرورية لصحة الانسان، وذلك من خلال مساعدتها في المعالجة او الوقاية من بعض الامراض، لكنها ممكن ان تكون سامة عندما تتركز بكميات عالية،اذ تصبح بعدها خطرة عن طريق تأثيرها في نمو الخلايا وعمل الجهاز الهضمي، وبصورة عامة فان العناصر الثقيلة جميعها تعد سامة اذا زاد تركيزها عن مستوى معين، وتظهر تأثيراتها في الكائن الحي تبعا لنوع العنصر ونسبة هذه الزيادة.

يتحدد تأثير العناصر الثقيلة في الانزيمات إذ إن هذه العناصرلها كهروسالبية الكترونية عالية مثل النحاس والفضة والزئبق التي تكون لها الفة عالية للاحماض الامينية (amino acids) ومجموعة السلفاهيدريل (SH –)

والـتي تعـدُ مواقـع التفاعـل للانزيمـات، وتتمثـل الاليـة الـسمية القاتلـة للعناصـر الثقيلة بتحطيمها للسطوح التنفسية للكائن الحي عند تعرضه لتركيز عالي من تلك العناصر ولمدة قصيرة، بينما في التعرض طويل الامد فان العناصر الثقيلة تتجمع في الاعضاء الداخلية للكائن الحي.

والعناصر الثقيلة ملوثات واسعة الانتشار ومن أكثرها ضرراً على البيئة لكونها ثابتة غير قابلة للتحلل، فضلا عن قدرتها على التركيز الحياتي في انسجة الكائنات الحية، و انتقالها للانسان عن طريق السلسلة الغذائية.

- **الطرائق الفيزيائية – الكيميائية في إزالة العناصر الثقيلة:**

صممت طرائق عديدة في ازالة العناصر الثقيلة من المخلفات الصناعية الا ان هذه الطرائق الفيزيائية – الكيميائية تعد غير عملية تجارياً بسبب كلفتها العالية، وعدم كفاءتها في ازالة العناصر الثقيلة من هذه الطرائق:

- **التنافذ العكسي (Reverse Osmosis):**

تستعمل بهذه الطريقة أغشية نصف نفاذة لإزالة المواد العضوية واللاعضوية المذابة في الماء. يصنع الغشاء الناضح من ألياف خاصة لها قدرة فائقة على إزالة أنواع الملوثات جميعاً بما فيها مفرزات الأحياء المجهرية، لكن من أهم سلبياتها يكون تدفق المياه محدوداً لايتلائم مع حجم الفضلة الصناعية.

- **الترسيب (Precipitation):**

تحدث هذه العمليات بإضافة كيميائيات مناسبة مثل: املاح الحديد، والشب، والكلس وبوليمرات عضوية اخرى، وهذه العملية تنتج كميات كبيرة من الحمأة (sludge) الحاوية على مركبات سامة فضلا عن صعوبة استرجاع العنصر من الحمأة الناتجة.

- التبادل الأيوني (Ion exchange):

عبارة عن بوليمرات راتنجية حيث تتبادل ايونات العناصر الثقيلة الموجودة في المحلول مع الايونات الموجودة على سطح الراتنج اوالمبادل الايوني، وهذه الطريقة غير قادرة في معظم الاحيان على إزالة المركبات العضوية وتكلفة العمل تكون عالية على المدى الطويل، فضلا عن ذلك فأن الراتنجات تكون حساسة اذ تتأثر بوجود كيميائيات اخرى مثل: المغنيسيوم ،والكاليسيوم في المحاليل وكذلك تكون عرضة للإنسداد بمواد مترسبة وعضوية.

- الادمصاص (Adsorption):

ويتضمن امتصاص المواد المذابة في المياه على سطح صلب، وغالبا ما يستخدم الكاربون المنشط الذي له القدرة على إزالة المركبات العضوية الذائبة بشكل فعال، ويمكن استخدامه لفترة طويلة لكن من سلبياته توليد جزيئات الكاربون الدقيقة في الماء تضعف قابلية الكاربون بعد مدة من الاستعمال مما يستوجب اجراء معاملة خاصة لاستعادة نشاطه.

- الخلايا الكهروكيميائية(Electrochemical cells):

تتكون الخلية البسيطة من قطبين، احدهما موجب (Anode)، وآخرهما سالب (Cathode)، يكون القطبان دائماً في حالة فرق جهد دائم وتنجذب ايونات العناصر الثقيلة الموجبة نحو القطب السالب إذ تختزل الى الحالة التأكسدية الصفرية وتتحول الى الحالة الصلبة، ويترسب على الالكترود ويجمع بعد ذلك.

ان أهم مساوىء هذه الطرائق بشكل عام:

1. كلفة عالية.
2. لا تزال العناصرالثقيلة بشكل تام.

3. إنتقائية واطئة.
4. استهلاك طاقة بشكل كبير.
5. تحرر او تكون طين رقيق القوام و تكون إزالته صعبة.

ونتيجة لمساوىء العمليات الفيزيائية – الكيميائية كان لابد من وجود طرائق اخرى لإزالة العناصر الثقيلة بإستخدام الاحياء المجهرية لقابليتها الكامنة في حماية البيئة وإزالة العناصر الثقيلة السامة.

- **دور الاحياء المجهرية في إزالة العناصر الثقيلة:**

تواجه الاحياء المجهرية أنواعاً مختلفة من العناصر في بيئتها الطبيعية التي تعيش فيها، لذلك فهي أما تستفيد منها أو تتخلص من ضررها.

أظهرت الدراسات مؤخراً أن هناك انواعاً من الاحياء المجهرية، مثل بعض أنواع من البكتريا، و الطحالب، والفطريات لها القابلية على الارتباط بأيونات العناصر الثقيلة المتوافرة في البيئة الخارجية بالنسبة لسطح الخلية او تجميعها داخل الخلية؛ لذلك من الممكن أستعمال مثل هذه الاحياء في إزالة بعض ايونات العناصر الثقيلة السامة من الماء، إن قدرة الاحياء المجهرية على إزالة العناصر الثقيلة من المحاليل تشمل كل من الخلايا الحية والميتة و تتلخص فى عدة اليات:

1. الترسيب/ التجمع خارج خلوي.
2. الامتزاز او تكوين معقدات على سطح الخلية (الكائنات الحية والميتة).
3. التجمع داخل خلوي (الكائنات الحية فقط).

محاسن الطرائق البيولوجية:

1. إقتصادية (كلفة تشغيل واطئة).
2. قدرةعالية في إزالة كميات كبيرة من العناصر الثقيلة.

لذلك توجهت الانظار في السنوات الاخيرة الى استخدام الكائنات الحية في إزالة العناصر الثقيلة، وهذا ما يعرف بالامتزاز الحياتي (Biosorption) التي تمتاز بقدرة وانتقائية عاليتين مقارنةً مع العمليات الفيزيائية – الكيميائية.

الامتزاز الحياتي Biosorption :

الامتزاز(Sorption): عملية فيزيائية – كيميائية مهمة تؤثر بشكل كبير في حركة ومصير الايونات في التربة والماء، يحدث الامتزاز الحياتي نتيجة التفاعل بين أيونات العنصر والمجاميع الفعالة في الجدار الخلوي للأحياء المجهرية الحية والميتة.

ان الامتزاز الحياتي هو أحدى العمليات التي تعتمد بالاساس على السعة والقابلية العالية لأنواع مختلفة من الاحياء المجهرية على الارتباط مع العناصر الثقيلة، ويمكن استخدام انواع مختلفة من الاحياء المجهرية مثل الطحالب ،و الفطريات، والبكتريا لإجراء عملية الامتزاز، حيث اظهرت الفطريات قدرة عالية في الامتزاز مثل استخدام الفطر Mucor rouxii في امتزاز الرصاص والكادميوم والنيكل والخارصين.

أستعملت الطحالب البحرية البنية مثل Sargassum sp. في امتزاز الكروم الثلاثي وامتزاز النحاس ايضاً، والطحالب الخضراء مثل Chlorella في امتزاز انواع مختلفة من العناصر الثقيلة.

كذلك استعملت مازات جديدة مثل اعضاء حيوانات كاجزاء من قشرة ابو الجنيب، وبعض النباتات مثل Salvinia sp. في إزالة العناصر الثقيلة من المياه الملوثة، بعض المازات تستطيع جمع وإزالة مدى واسع من العناصر الثقيلة بينما بعضها الآخر تكون متخصصة في إزالة انواع معينة من العناصر.

تعد البكتريا من المازات الحياتية الممتازة وذلك لأنها تمتلك مساحة سطحية كبيرة قياساً بالحجم والمحتوى العالي من المواقع الكيميائية الفعالة في الجدران الخلوية مثل احماض التكويك (Teichoic acids)، فضلاً عن سرعة النمو لصغر حجمها وقابليتها على النمو تحت ظروف مسيطر عليها ،وسهولة التكيف في مدى واسع من الظروف ومرونتها العالية، ومن أمثلتها استخدام بكتريا Thiobacillus ferrooxidans في إزالة النحاس.

إن اختيار نوع الكتلة الحياتية في امتزاز العنصر عامل رئيس و مهم يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار بحيث يجب ان تكون موجودة في الفضلة الصناعية وبكميات كبيرة في الطبيعة و تتكاثر بصورة سريعة، يحدث الامتزاز بسبب الالفة العالية للمازات الحياتية في جذب العناصر الثقيلة، وذلك لامتلاك الجدران الخلوية لهذه المازات مجاميع كيميائية مشحونة تعد مواقع فعالة لإرتباط أيونات العناصر بها مثل: مجاميع الكاربوكسيل، و الامين، و الهيدروكسيل، والاميدات، والفوسفات، والسلفاهيدريل، و آمايدوزول، و فوسفات ثنائية الاستر،و الثايواستر، والكبريتات، والكاربونيل، وان اهمية هذه المواقع الموجودة في المادة المازة تعتمد على عدة عوامل منها: قابلية المواقع الفعالة، و الحالة الكيميائية للموقع، والالفة بين الموقع والعنصر (قوة الارتباط).

- التراكم الحياتي Bioaccumulation:

انتقال العناصر عبر الغشاء الخلوي داخل الخلية (أخذ فعال) الذي يعتمد على ايض الخلية ويحدث في الخلايا الحية، وهي تفاعلات بطيئة وغير عكسية على الرغم من عدم فهم الية نقل العناصر الثقيلة الى داخل الخلية بصورة تامة، يبدوان الآلية نفسها تستخدمها الكائنات المجهرية لتركيز العناصر الثقيلة الضرورية مثل: الصوديوم، و الكالسيوم، والمغنيسيوم، ومن المحتمل ان عملية النقل غير قادرة على التمييز بين الايونات الضرورية بوصفها مغذيات وايونات العناصر الثقيلة السامة ذات الجذور الذرية والشحنة المشابهة لها.

تعد عملية الامتزاز الحياتي اكثر تطبيقاً من التراكم الحياتي ؛وذلك لكون النظام الحي (التراكم الحياتي) يتطلب اضافة مغذيات بإستمرار، زيادة في المتطلب البايولوجي للاوكسجين (BOD) أو زيادة في المتطلب الكيميائي للاوكسجين (COD)، هذا فضلا عن صعوبة المحافظة على حيوية الخلايا المايكروبية بسبب سمية العناصر الثقيلة، و توافر عوامل بيئية غير ملائمة، زيادة على ان نواتج الايض ممكن ان تكون معقدات مع العناصر وتعيدها الى المحلول مرة اخرى.

- **الجدار الخلوي ودوره في الامتزاز الحياتي:**

تعود قابلية الخلايا البكتيرية للارتباط بالعناصر الى الخصائص الاساسية للغلاف الخلوي (cell envelope) وهو الطبقة الخارجية التي تفصل بروتوبلاست الخلية عن الوسط المائي، وهو لايعمل فقط كحاجز فيزيائي او كيميائي وانما يحافظ على الشكل الخلوي و يشارك في النمو و الانقسام و انتشار المواد الغذائية والفضلات.

هنالك انواع مختلفة من التراكيب تكون الغلاف الخلوي وأكثرها اهمية هو الجدار الخلوي ومن ثم تأتي المحفظة (Capsule)، و طبقة S (S- Layer) والغمد (Sheath) ويشكل الجدار الخلوي احد التراكيب الاساسية المهمة في الخلايا الحية فالمواد الداخلة والخارجة من الخلية تمر من خلاله، وهو مسؤول مسؤولية مباشرة عن الشكل والصلابة وحماية الخلية من الضغط الاوزموزي.

فضلاً عن إدائه دوراً مهماً في الانقسام الخلوي وكذلك في اخذ الايونات من البيئة الخارجية حيث تشارك المجاميع الفعالة الموجودة في الجدران الخلوية في ارتباط العناصر بها خلال عملية الامتزاز.

يمكن ان تقسم البكتريا اعتماداً على استجابة الغلاف الخلوي للون غرام على نوعين: غلاف موجب للون غرام وغلاف سالب للون غرام:

- **غلاف البكتريا الموجبة لملون غرام Gram positive cell envelope:**

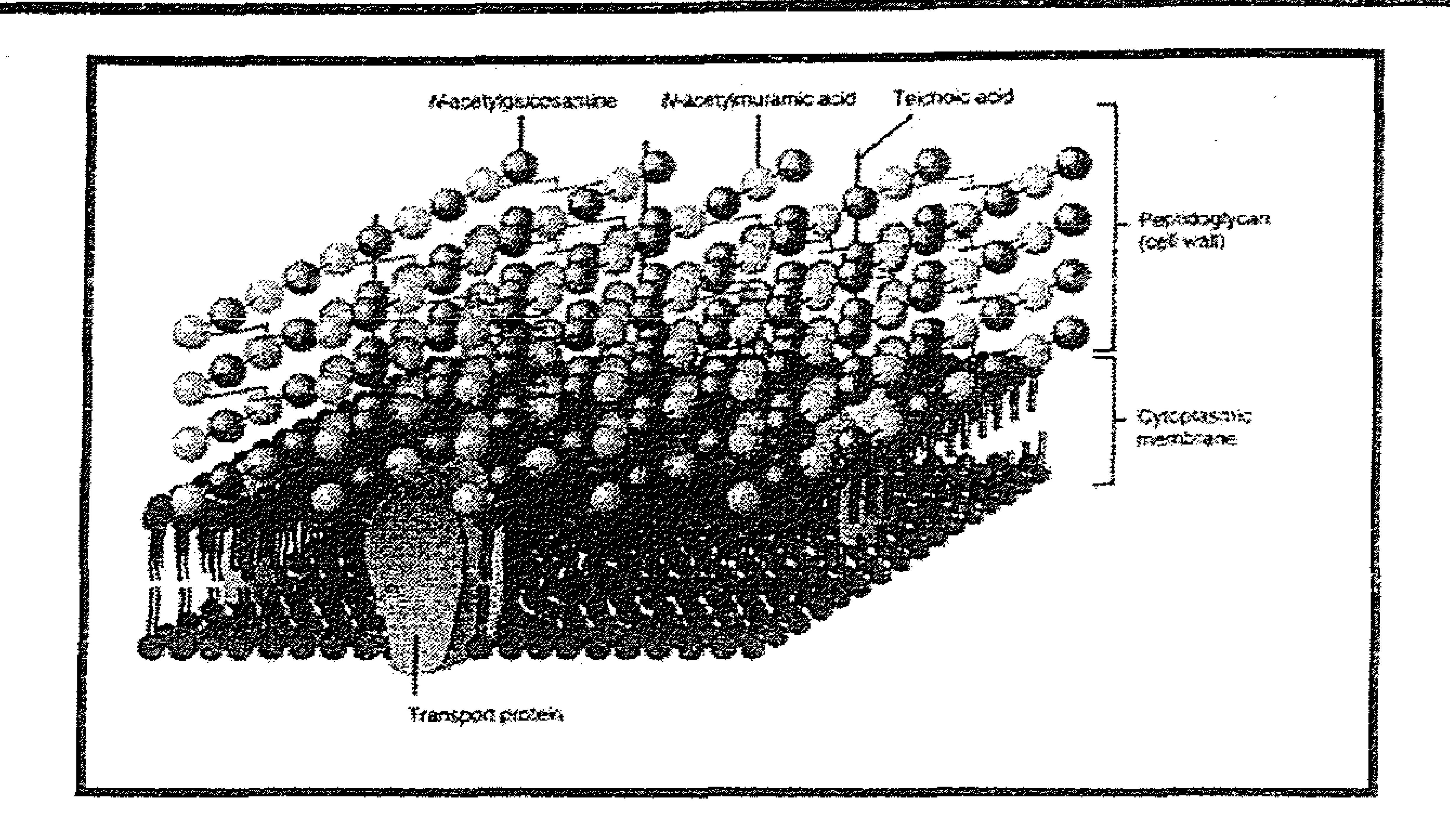
يتألف الغلاف الخلوي للبكتريا الموجبة لملون غرام الموضح في شكل (19) بصورة رئيسة من الغشاء البلازمي وطبقة الببتيدوكلايكان (Peptidoglycan) وهي مكونة من ثلاثة اجزاء:

الاول: بوليمر مكون من جزيئة مزدوجة من ن – أستيل كلوكوز أمين (N- acetyl glucoseamine) و ن – استيل حامض الميوراميك (N- acetyl muramic acid)، مرتبطة بآصرة من نوع $\beta(1,4)$، و الببتيدو كلايكان متعدد الطبقات يتراوح سمكه من (20 – 40) طبقه.

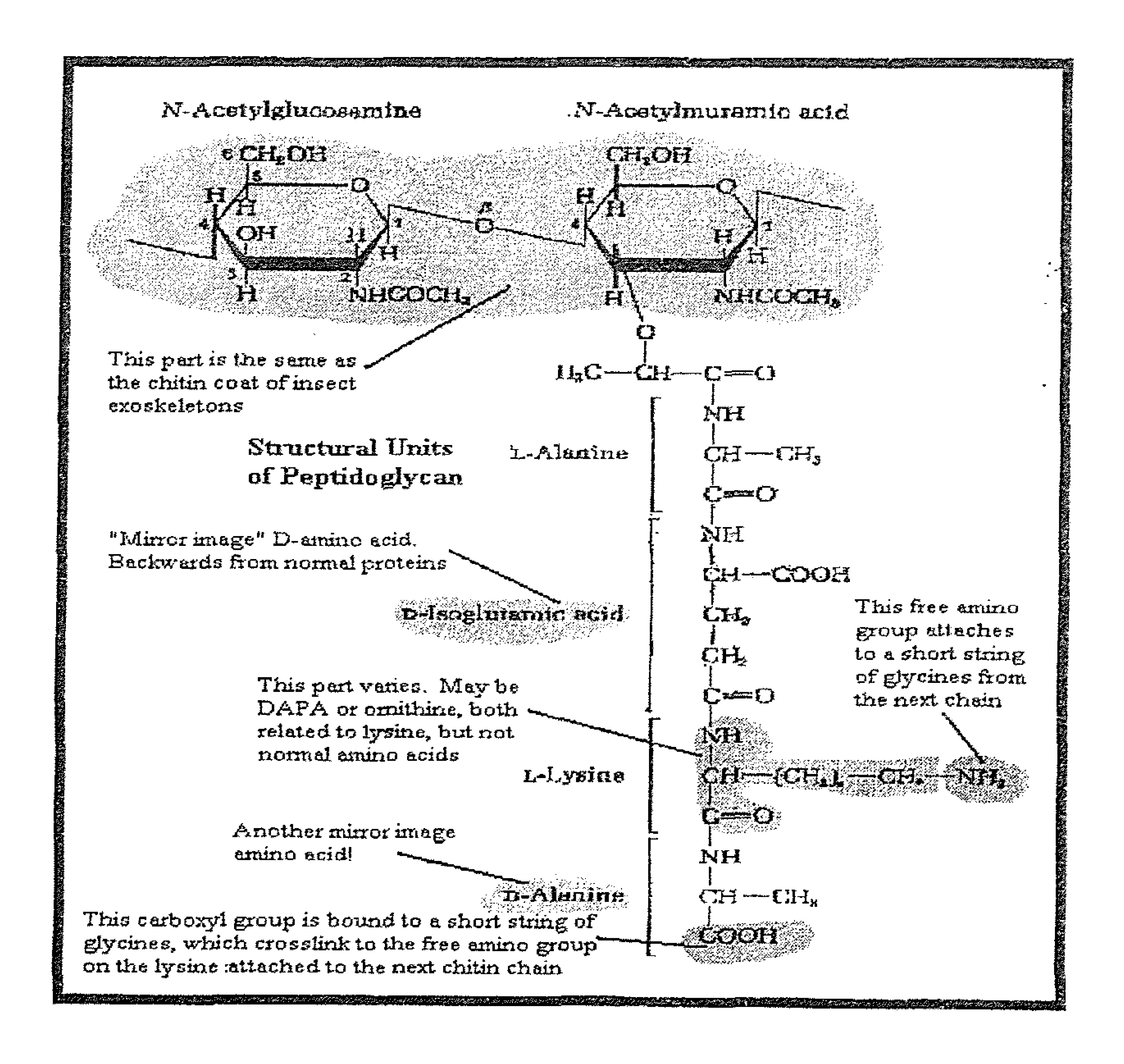
الثاني: سلسلة قصيرة من السيقان الببتيدية (Peptide stems) تتألف من(4 – 5) أحماض امينية تختلف بإختلاف المجاميع البكتيرية ترتبط بحامض الميوراميك بآصرة تساهمية.

الثالث: جسور عرضية (Cross bridges) تربط سلاسل الببتيد مع بعضها والحامض الاميني الثالث هو الذي يرتبط مع الجسر المستعرض، وتعد الجسور المستعرضة الصفة المميزة للبكتريا الموجبة لصبغة غرام كما هوموضح في شكل(20).

تاخذ طبقة الببتيدوكلايكان دورا رئيساً في عملية الامتزاز خصوصا مجاميع الامين والكاربوكسيل الموجودة في سلسلة الببتيد والتي تشحن الجدار بشحنة سالبة، فضلا عن الحجيرات او الفراغات ما بين الجزيئات (Intramolecular spaces) المتكونة بوساطة الجسور العرضية، وكذلك البوليمرات الثانوية مثل أحماض التكويك والتيكيورونك (teichuronic acids) التي ترتبط بالجدار الخلوي لها دور مهم في عملية الامتزاز.



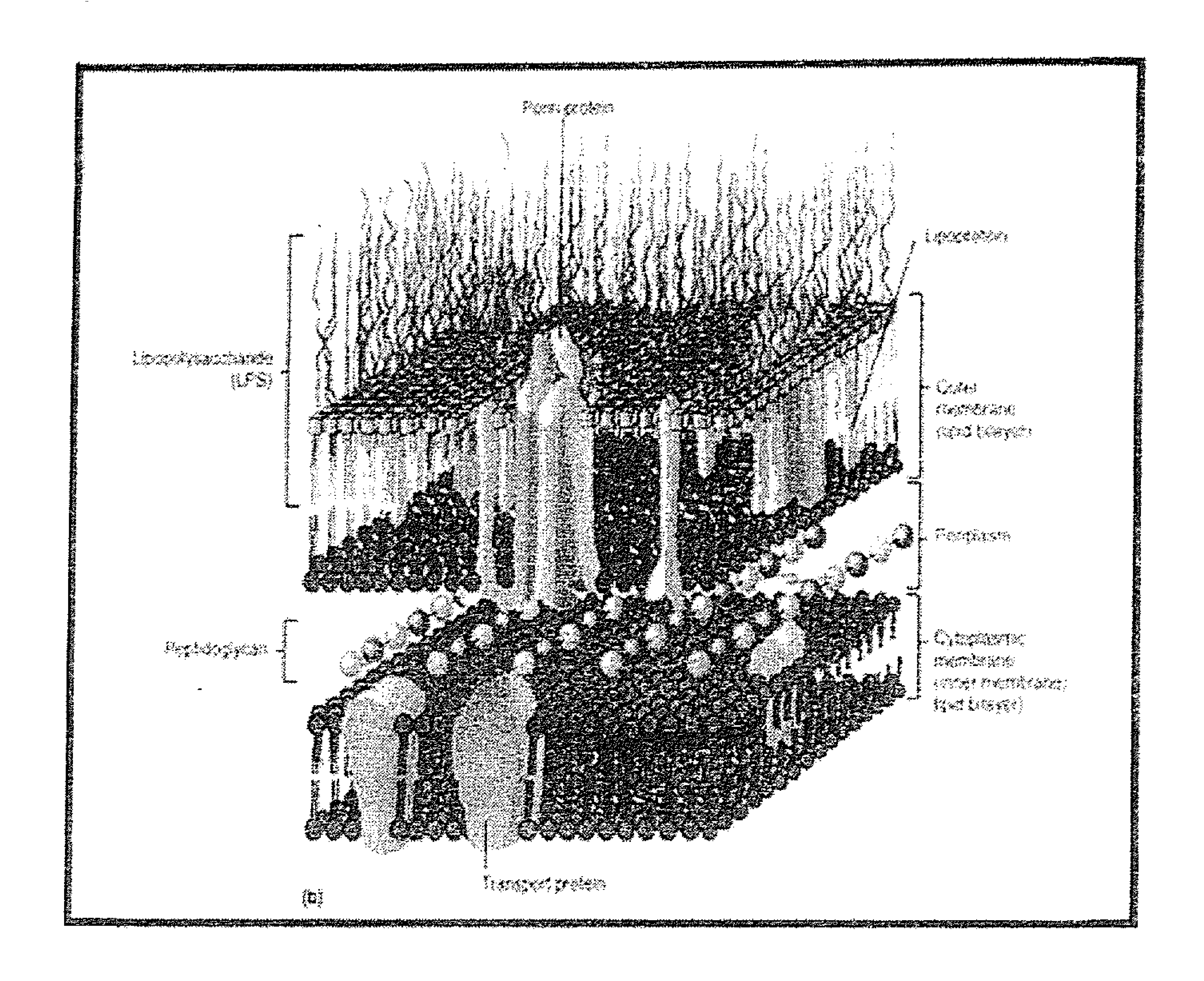
شكل (19) الغلاف الخلوي للبكتريا الموجبة للون غرام (Nester,2001)



شكل(20) تركيب الببتيدوكلايكان (Corcoran , 2002)

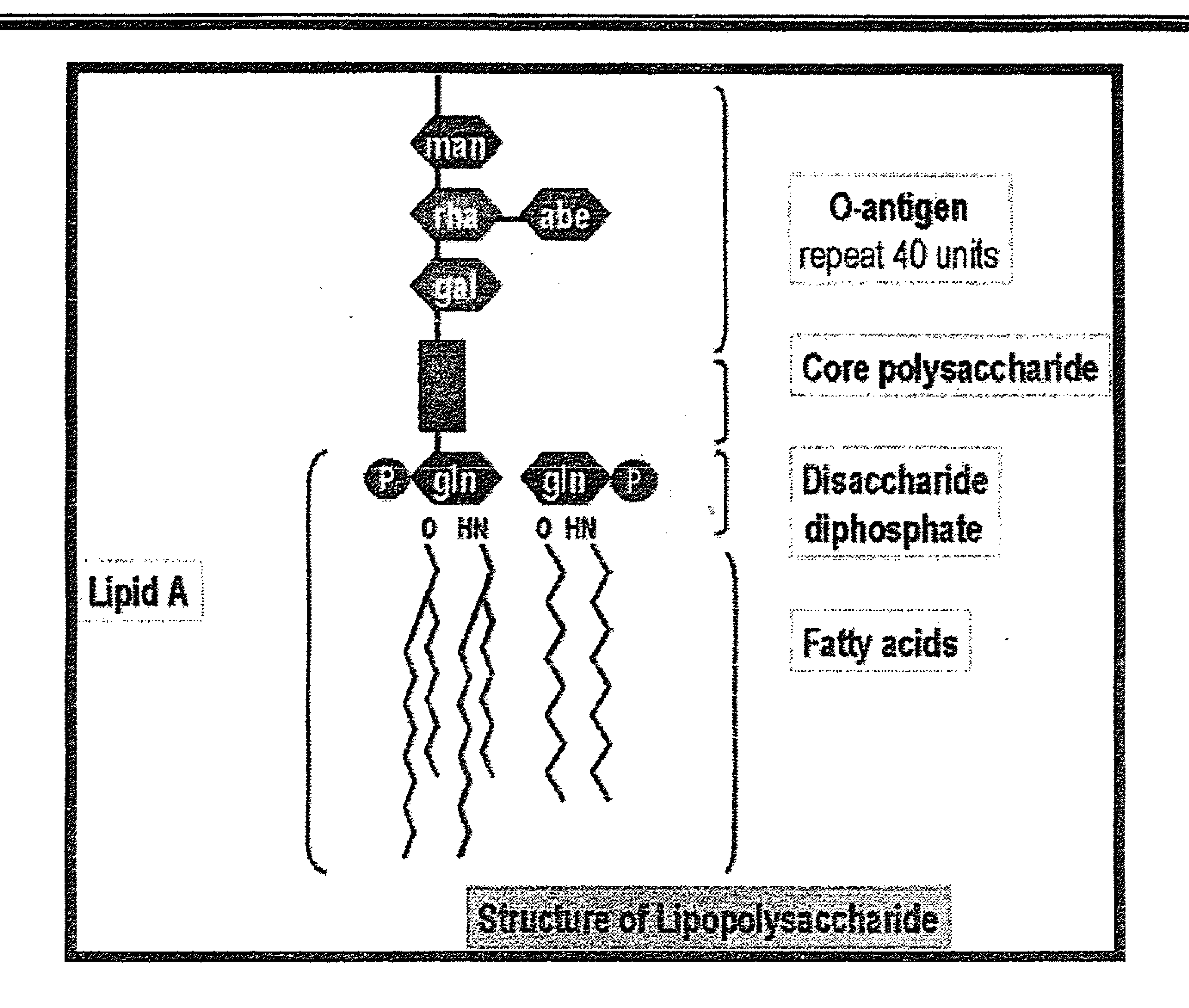
- **غلاف البكتريا السالبة لصبغة غرام Gram negative cell envelope:**

جدار البكتريا السالبة للون غرام عديد الطبقات يكون اكثر تعقيداً كيميائياً وتركيبياً من جدار البكتريا الموجبة لصبغة غرام كما هو موضح في شكل (21)، و يتكون الجدار الخلوي من الداخل نحو الخارج من غشاء بلازمي (Plasma membrane) داخلي ثنائي الطبقات، الى الخارج منه طبقة او طبقتان من الببتيدوكلايكان بينهما الفراغ المحيط بالبلازم (Periplasmic space) يظهر تحت المجهر الالكتروني على شكل منطقة نصف شفافة، وأخيراً طبقة خارجية هي الغشاء الخارجي (Outer membrane) ترتبط به طبقة الببتيدوكلايكان بآصرة تساهمية بوساطة البروتين الدهني (Lipoprotein)، والغشاء الخارجي تركيب ثنائي الطبقة يحتوي على عديد السكريد الشحمي (Lipopolysaccharide) فضلاعن انواع اخرى من البروتينات مغمورة في الغشاء مثل البورينات (Porins) التي تعمل قناة لإنتشار المحاليل المائية خلال الغشاء الخارجي.



شكل (21) الغلاف الخلوي للبكتريا السالبة لملون غرام (Nester,2001)

تمتلك طبقة (LPS) مناطق غنية بمجاميع الكاربوكسيل والفوسفات التي تأخذ دوراً مهماً في عملية الامتزاز فتشحن الجدار بشحنة سالبة ومن ثم تساهم في اخذ الايونات من البيئة الخارجية، فقد وجد أن مجاميع الفوسفات الموجودة في طبقة (LPS) هي مواقع الارتباط الرئيسة التي ترتبط بها العناصر فضلا عن مجاميع الكاربوكسيل (انظر شكل رقم 22).



شكل (22) تركيب عديد السكريد الشحمي LPS (Fox ,2006)

آليات الامتزاز الحياتي Mechanism of Biosorption:

على الرغم من ان العديد من الدراسات نشرت حول موضوع قابيلة الكائنات المجهرية لامتزاز انواع مختلفة من ايونات العناصر الثقيلة الا ان تفسير الية حدوث هذه العملية تكون محدودة، ولا توجد معرفة تامة بكيفية حدوث العملية بصورة واضحة، ويمكن تصنيف الاليات على وفق ما يأتي:

اولاً: التصنيف حسب الفعاليات الأيضية للخلية: ويمكن ان يقسم الامتزاز الى:

أ. معتمد على الفعاليات الايضية.

ب. غير معتمد على الفعاليات الايضية.

ثانياً: الازالة حسب الموقع من الخلية:

أ. التجميع خارج خلوي / ترسيب.

ب. امتزاز على سطوح الخلايا.

ج. ترسيب داخل خلوي / تجميع.

هناك عدة اليات لحدوث الامتزاز تعتمد على التداخلات الفيزيائية والكيميائية بين مواقع الربط للجدار الخلوي وايونات العناصر الممتزة التي من المهم فهمها من اجل الحصول على نتائج افضل في إزالة العناصر الثقيلة، من هذه الاليات:

- **نظرية التنوّي (Nucleation theory):**

إن آلية ربط العناصر بالجدران الخلوية تبدو على الاقل انها تحصل خلال خطوتين هما:

الأولى: الاتحاد العنصري Stoichiometric interaction مع المجاميع الكيميائية في الجدار الخلوي.

الثانية: الترسيب اللاعضوي لكميات اخرى من العناصر.

- **الجذب الكهربائي المستقر (Electrostatic attraction):**

يحصل جذب كهربائي بين ايونات العناصر الموجبة في المحلول والمجاميع الفعالة ذات الشحنة السالبة لجدار الخلية المايكروبية فيحصل ارتباط وتنظيم لمستوى الايونات وافترض ان امتزاز اليورانيوم، والكادميوم، والخارصين، والنحاس، والكوبلت بوساطة الكتل الحياتية الحية والميتة للطحالب، والفطريات يحدث نتيجة الجذب الكهربائي المستقر.

- **تكوين المعقدات على سطح الخلية (Surface complexation):**

يعتمد تكوين المعقدات على فكرة شحنة سطح الخلية التي لها القابلية على التفاعل مع الايونات الموجبة والسالبة لتكون معقدات على السطح ، وإعتمادا على آلية تكوين المعقدات هناك ثلاث خطوات تشارك في عملية الامتزاز هي تأين السطح، وحصول التعقيد بين الموقع المتأين وأيونات العناصر واخيراً تكوين طبقة مشحونة كهربائياً تعمل على تكوين سلسلة لربط ايونات اخرى.

ان بعض الخلايا لها القابلية على انتاج حوامض عضوية مثل: (الستريك ، واوكزاليك، وكلونيك، وفيومارك، ولاكتيك، وماليك) تعمل على الاندغام (chelate) بايونات العناصر مكونة بذلك معقدات تتراكم على سطح الخلية.

- **لترسيب (Precipitation):**

ممكن ان يحدث ترسيب العناصر الثقيلة مباشرة على سطح الخلية أو في المحلول، يعتمد الترسيب في بعض الاحيان على الفعاليات الايضية الخلوية فبوجود العناصر السامة تنتج الاحياء المجهرية مركبات لها القابلية على ترسيب العناصر على سطح الخلية، وممكن ان لايعتمد الترسيب على الفعاليات الايضية الخلوية اذا حدث نتيجة التفاعل الكيميائي بين العناصر والمجاميع الفعالة على سطح الخلية، مثلا بكتريا Desulfovibrio تستطيع ان تختزل الكبريتات الى كبريتيدات ومن ثم لها القابلية على ترسيب العنصر بشكل كبريتيدات العنصر.

- **التبادل الايوني (Ion exchange):**

يحصل تبادل أيوني بين ايونات العناصر الثقيلة ثنائية التكافؤ و الايونات الموجودة للمواقع الفعالة في الجدار الخلوي للاحياء المجهرية، إن امتزاز العناصر بوساطة الطحالب يحدث نتيجة التبادل الايوني، فمثلا امتزاز النحاس والخارصين

والكادميوم بوساطة Sargassum fluitans حصل نتيجة التبادل الايوني مع ايونات الكالسيوم التي تتحرر الى المحلول.

- امتزاز الأيونات السالبة (Anionic ions biosorption):

إن ماء الفضلة الصناعية لصناعات مختلفة مثل التعدين و الطلاء الكهربائي يحتوي على عناصر ثقيلة سامة وغالباً ما تكون على شكل معقدات سالبة مثل: الكرومات و الفناديت والسيلينات وسيانيد الذهب، ولا توجد الكثير من الدراسات حول الية امتزاز الايونات السالبة الا ان مثل هذه الايونات تكون فعالة في الارتباط بانواع من الكتل الحياتية الحاوية على مجاميع الامين.

يزداد امتزاز الايونات السالبة بإنخفاض الدالة الحامضية وهذا يعود الى إزدياد إرتباط البروتونات بالمواقع الفعالة.

وضعت آليتان تفسران ارتباط الأيونات السالبة مثل السليكا (SiO_3) بالجدار الخلوي لبكتريا Bacillus subtilis، إذ أن الآلية الأولى تتضمن أيضا خطوتي الاتحاد بالمواقع الفعالة (هنا تماثل مجاميع الأمين الموجبة الشحنة) وتكوين مواقع التنوَي، أما الآلية الأخرى فتفسر امتزاز الأيونات السالبة بالكيفية الآتية:

تكون الايونات الموجبة عن طريق ارتباطها بالمواقع الفعالة السالبة في الجدار الخلوي معقدات تصبح جسورا تربط الايونات السالبة، فالجدران المحملة بالحديد والألمنيوم تقوم بامتزاز أيونات السليكات اكثر من الجدران الخالية من هذه العناصر.

- **العوامل المؤثرة في الامتزاز الحياتي:**

تتباين الانواع المايكروبية في قابليتها على ازالة العناصرالثقيلة ويعود ذلك الى عدة عوامل تؤثر في الامتزاز الحياتي منها:

- **الدالة الحامضية (pH):**

أكدت العديد من الدراسات حول أهمية تأثير الدالة الحامضية في الامتزاز الحياتي للعناصر الثقيلة لمختلف الاحياء المجهرية، تؤثر الدالة الحامضية في الشحنة السالبة في سطح الخلايا المازة وكيميائية الجدران وكذلك الحالة الفيزيوكيميائية والتحلل المائي للعنصر.

في الظروف الحامضية العالية $pH<3$ تتنافس البروتونات مع ايونات العناصر الثقيلة على مواقع الارتباط في الجدران الخلوية، اما عند الظروف القاعدية تتأثر ذائبية ايونات العناصر المعدنية مما يؤدي الى ترسيبها في المحاليل المائية، وبذلك يقل الامتزاز الحياتي.

- **درجة الحرارة:**

تجرى أغلب التجارب بمعدل يتراوح بين (4 – 55) درجة مئوية حيث تزداد الايونات الممتزة كلما ازدادت درجات الحرارة، وفي هذا الخصوص تشير بعض الدراسات الى ان درجة الحرارة تبدو انها غير مؤثرة في الامتزاز في المدى بين (20 – 35) درجة مئوية، ولا يوجد فرق معنوي في امتزاز العناصر عند درجات الحرارة الآتية (50،40،30) درجة مئوية.

- **مدة التماس:**

ان سرعة حدوث الامتزاز تعتمد بالاساس على المجاميع الرابطة الفعالة ونشاطها في امتزاز ايونات العناصر من المحاليل المائية، و ان عملية امتزاز الايونات تتم بسرعة فائقة، و ان معظم الايونات تمتز على الجدار الخلوي للمازات الحياتية خلال الدقائق الاولى من وقت التماس.

- **الحالة الفسلجية للكائن المجهري:**

الحالة الفسلجية للكتلة الحياتية المايكروبية تؤثر بصورة كبيرة في كمية تمثيل العنصر خلال عملية الامتزاز فيظهر ان العلاقة عكسية بين تمثيل العنصرداخل الكائن المجهري وتحمل الكائن لذلك العنصر؛ بمعنى ان الكائن المجهري الاكثر تحملا للعنصر يتجمع فيه ايونات عناصر ثقيلة اقل، ووجد ايضا ان لعمر الكتلة الحياتية المايكروبية المستخدمة تأثير في كمية الايونات الممتزة حيث تزداد بزيادة عمر الكتلة الحياتية، فقد ازداد امتزازالرصاص عند استخدام الكتلة الحياتية لطحلب Spirulina بعمر(72) ساعة.

يفضل استخدام الخلايا البكتريا الميتة على الخلايا الحية وذلك لامكانية الاحتفاظ بالخلايا لمدة زمنية اطول عند درجات حرارة الغرفة، ولاتتاثر بسمية العناصر ولا تحتاج الى مواد مغذية مساندة، ويمكن استرجاع العناصر الممتزة بسهولة واستخدام الخلايا مرة اخرى.

- **تركيز الكتلة الحياتية:**

ان تركيز الكتلة الحية يؤثر في امتزاز ايونات العناصر ففي التراكيز الواطئة للكتلة الحية تحدث زيادة في اخذ الايونات، اما التراكيز العالية للكتلة الحية فتؤدي الى حدوث تداخل بين مواقع الارتباط وارتباط الخلايا مع بعضها، ومن ثم تقل المساحة السطحية للخلايا التي تتعرض للمحلول، وهذا يؤدي الى قلة الامتزاز.

- **العوامل الداخلية التي تؤثر في كفاية الامتزاز:**

اولاً: العوامل المتعلقه بالخلية البكتيرية:

ان شحنة سطح الخلية للانواع البكتيرية المختلفة تتغاير تبعا لعمر وطبيعة وتركيب الوسط الذي تنمى فيه البكتريا، وهناك عوامل تساهم في تغيير الشحنة الكلية لسطح الخلية البكتيرية وتمنح سطح البكتريا خواصاً جوهرية تختلف عن تلك المتوقعة للبكتريا تعتمد على مكونات الغلاف الخلوي ومن هذه العوامل:

1. تبادل الشحنات بين المجاميع المكونة للجزيئات اذ يحدث ذلك عن طريقين: الاول، حصول التنافر بين شحنات الجزيئات له الدور الاكبر في تكيف، أو تعديل أو تنسيق الشحنات، مثل حامض التكويك وعديد السكريد للمحفظة مثل محفظة حامض الهيالورونيك للعقديات (Streptococcal hyaluronic acid capsule)، والثاني هو تعادل الشحنات بين الجزيئات وهو محتمل الحدوث ايضا، مثل الشحنة الموجبة لمجاميع الامين للحامض الاميني الالنين (alanine) في حامض التكويك من الممكن ان تعادل الشحنة السالبة لمجاميع الفوسفات للجزيئة نفسها، اكثرمن ذلك يمكن ان تتفاعل المكونات المعزولة بعضها مع بعض (مجاميع الفوسفات لحامض التكويك تتفاعل مباشرة مع مجاميع الامين في البروتينات والببتيدوكلايكان في الجدار).
2. اختلافات جوهرية لشحنة الخلية ممكن ان تحدث نتيجة وجود لواحق متصلة بالخلية مثل: الاسواط، والليفات، والاهداب.

ثانياً: عوامل متعلقة بالعنصر الثقيل:

ايونات العناصر الثقيلة تختلف في قابلية ارتباطها بالمواقع الفعالة فالاشكال الايونية للعنصر نفسه لها مواقع ارتباط مختلفة وتؤثر كل من الشحنة الايونية وانصاف الاقطار وحجم الايون في الامتزاز ايضا.

- **نظام متعدد الايونات (Multi-ions system):**

تكون مياه الفضلة الصناعية المطروحة حاوية في اغلب الاحيان على أيونات لأكثر من عنصر واحد من العناصر الثقيلة ونادراً ما تكون محتوية على ايونات لعنصر واحد فقط.

ان تقويم وتفسير نتائج الامتزاز لعنصرين موجودين في محلول واحد يكون بالغ الصعوبة، وكذلك فإن النتائج المستحصلة من نظام مفرد الايون لا يمكن اعتمادها للتنبؤ بنتائج وسلوك الايونات الممتزة في نظام متعدد الايونات.

وعلى الرغم من أهمية الموضوع إلا إنه لاتوجد دراسات وافية عن الامتزاز الحياتي لخليط العناصر المختلفة والموجودة مع بعضها في المحاليل المائية.

فإزالة نوع واحد من العناصر ممكن ان يتأثر او لا يتأثر بوجود عناصر اخرى، فمثلا ازالة اليورانيوم بوساطة البكتريا، و الفطريات، والخمائر لاتتأثر بوجود المغنيسيوم، و الكوبلت،و النحاس، والكادميوم، والزئبق، والرصاص في المحاليل،اما امتزاز الكوبلت بوساطة انواع مختلفة من الاحياء المجهرية يثبط تماماً بوجود اليورانيوم، والرصاص، والزئبق، والنحاس، على العكس فإن وجود ايونات الخارصين والحديد يؤثر في اخذ اليورانيوم بوساطة Rhizopus arrhizus.

في دراسة لامتزازالعناصر النتروجين و الكالسيوم و المنغنيز و النيكل والسترونتيوم و الخارصين والمغنيسيوم بوساطة Bacillus subtilis وجد أن هذه العناصرجميعها لها مواقع الارتباط نفسها في الجدار الخلوي؛ وهذا يؤدي الى حدوث تنافس مباشر على الموقع الرابط عند وجود عنصرين او اكثر فلا تحدث تداخلات بين انواع العناصر الممتزة الا في حالة التنافس على موقع الارتباط نفسه، ومن ثم فإن كمية العناصر الممتزة تقل عند وجودها معاً قياساً بالكمية الممتزة لعنصر موجود بمفرده نتيجة تنافس أيونات العناصر على مواقع الارتباط نفسها.

وعلى العموم فقد قسم تنغ وجماعته تأثير مزيج العناصر في نظام الامتزاز الحياتي على ثلاثة أقسام:

1. يكون تأثير المزيج أكبر من تأثير كل عنصر لوحده (تآزري synergism).
2. يكون تأثير المزيج أصغر من تأثير كل عنصر لوحده (تضادي antagonism).
3. يكون تأثير المزيج مساوي لتأثير كل عنصر لوحده (غير تنافسي noncompetitive).

- **طرائق الامتزاز:**

يمكن انجازعملية الامتزاز باحدى الطرائق الاتية:

1. **نظام الدفعة الواحدة Batch System:**

بهذه الطريقة يمكن استخدام الخلايا المايكروبية الحرة سواء أكانت حية ام ميتة ام بعض مكونات الخلايا لقبط (Uptake) الايونات المختلفة، تجارب تجميع العناصر الثقيلة تتم بتعليق كمية من الخلايا (محسوبة على اساس الوزن الجاف أوالطري) في المحاليل الحاوية على ايونات العناصر ثم جمعها بوساطة المنبذة، من ثم قياس التركيز المتبقي للعنصر في المحلول، او يمكن اجراء العملية بتنمية الخلايا المايكروبية في اوساط غذائية سائلة حاوية على تراكيز من العناصر الثقيلة.

2. **نظام الجريان المستمر Contineous flow System:**

هذه الطريقة تعتمد على تقييد الخلايا المايكروبية على المادة الاساس، ومن ثم تعبئتها في أعمدة يمكن من خلالها التحكم بسرعة جريان المحاليل الحاوية على العناصر الثقيلة ،وتعرف هذه التقنية بانها التقنية التي تمنع أوتقلل من حركة الخلايا داخل المفاعل الحياتي (Bioreactor)، بهذه الطريقة يمكن معالجة

كميات كبيرة من المياه الملوثة بدون فقدان للخلايا التي تعمل مازات حيوية لمدة زمنية طويلة، وقد لاحظ احد الباحثين زيادة في كفاءة البكتيريا لقبط عناصر الرصاص، والنحاس ،والكادميوم باستخدام طريقة الجريان المستمر، كما قام بدراسة قبط الحديد والسيلكا باستخدام البكتيريا Bacillus subtilis المقيدة على مواد بوليميرية وموازنتها مع الخلايا الحرة فكانت الخلايا المقيدة افضل في عملية القبط، معظم البحوث التي انجزت في هذا المجال استخدمت فيها انواع مختلفة من البكتيريا مثل:Bacillius, Psedomonas ,Enterobacter وكذلك انواع من الخمائرمثل:Saccharomyses وكذلك الفطريات مثل: .Aspergillus Rizopus,

تقنية تقييد الخلايا Immobilization:

ويقصد بها العملية التي تتم بوساطتها تحدد حركة الخلايا المايكروبية او مشتقاتها او الانزيمات بامتزازها على سطوح مواد ساندة او اقتناصها داخل المواد مثل: الالياف، والهلامات،او المواد البلاستيكية وغيرها، وهي احدى الطرائق التقليدية الرائدة للتقنية الحياتية، ويعد التصاق الخلايا البكتيرية على سطوح المواد المختلفة والعوامل المؤثرة في ذلك من المواضيع المهمة والتقنيات الواسعة الاستخدام في مجال صناعة الادوية وانتاج المواد الغذائية والانزيمات.

إن عملية التقييد ماهي الا محاكاة للطبيعة فاغلب المواد والانزيمات تكون مقيدة داخل الكائنات الحية في الانسجة والاعضاء، فالخلايا المايكروبية في الطبيعة تكون ملتصقة على حبيبات التربة، ولعمليات التقييد العديد من الفوائد التي تجتذب انتباه المشتغلين، ومن هذه الفوائد:

1. تقييد الخلايا المايكروبية سواء أكانت خلايا كاملة ام حطام الخلايا يؤدي الى اطالة مدة استعمالها لاوقات طويلة بشكل مستمر.كذلك يمكن استعمالها بشكل متكرر في العمليات اذ انها لا تفقد عند نهاية العملية التخمرية وبذلك تقلل التكاليف .

2. عملية التقييد تزيد من ثبوتية الخلايا حيث يمكن اطالة حيوية الخلايا عند تقييدها في حبيبات الهلام اوغيره من المواد التي تسمح بنمو محدد دون ان يؤثر ذلك في نظام التقييد.
3. تقييد الخلايا المايكروبية يفيد في كون نواتج العمليات التخمرية تكون خالية منها؛ وهذا سيسهل عمليات التنقية والاستخلاص فضلاً عن ان الخلايا المقيدة في اغلب الاحيان لاتنمو ومن ثم لاتنتج فضلات عرضية خاصة بها؛ ولذا تكون النواتج خالية منها و تزداد سهولة عملية الاستخلاص.

وعليه فالملاحظ ان عمليات التقييد تؤدي الى التقليل من استهلاك الطاقة ،وتقليل التكاليف، كما انها توفر فرص اكبر للسيطرة على عمليات التصنيع.

- **المواد وطرائق التقييد:**

أولاً: الطرائق الفيزيائية وهي تشمل طرائق مختلفة منها:

أ. التغليف داخل الكبسولات(Encapsulation) باستعمال اغشية رقيقة نصف ناضحة.
ب. الادمصاص (Adsorption) على سطوح او داخل مواد غير ذائبة.
ج. الاقتناص(Entrapment) داخل المواد الهلامية.
د. الارتباط التساهمي (Covalent binding).

ثانياً: الطرائق الكيميائية وتتم من خلال إنشاء أواصر خاصة مثل:

أ. تكوين اواصر عرضية (Cross-Linking).
ب. تكوين اواصر تساهمية (Covalent Bonding).

والشكل (23) يوضح طرائق التقييد المختلفة.

اما المواد المستعملة في هذا المجال كثيرة فضلاً عن انها توجد باشكال مختلفة ويمكن تقسيم المواد المستعملة على قسمين:

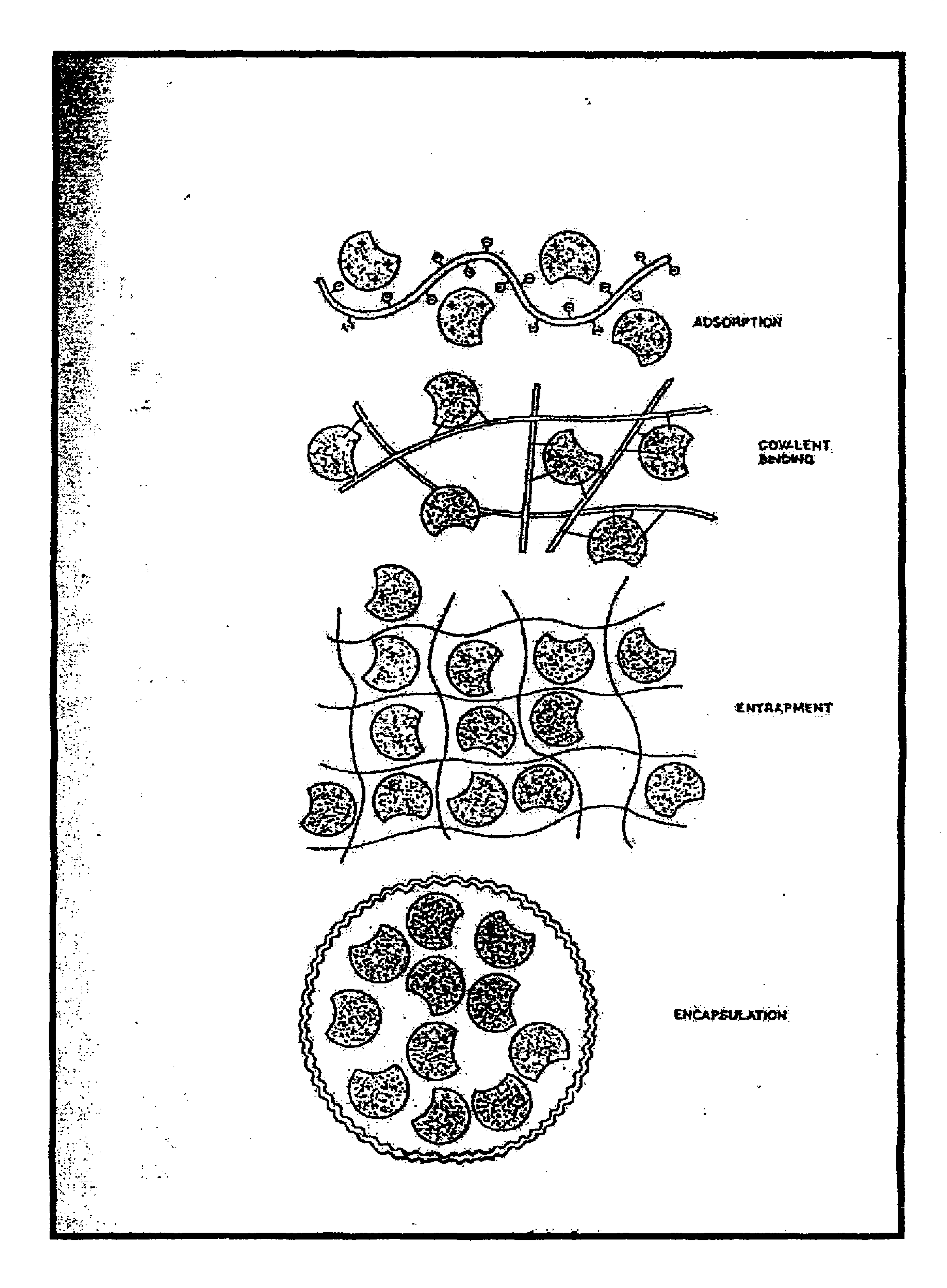
1. المواد اللاعضوية:

وتم استعمالها في وقت مبكر حتى قبل استعمال المواد العضوية، الا ان الاخيرة هي التي تطورت واستعملت بكثرة،ان العديد من المواد اللاعضوية يمكن استعمالها بوصفها مواداً مقيدة مثل السيراميك الذي يستخدم بكثرة في الصناعات البتروكيمياوية كذلك الاطيان، الالومينا، البيركس، الرمل، الفحم الحبيبي، وتستخدم هذه لتقييد أنواع مختلفة من الأجناس البكتيرية لمعالجة المياه الملوثة بالعناصر الثقيلة، ان المواد اللاعضوية المستعملة للتقييد يجب ان تكون خاملة وغير ذائبة في الماء وصلبة وغير قابلة للانضغاط، وقد يكون التقييد على بعض هذه المواد أمرا مكلفا لكن التعويض يكون بامكانية استعمال العامل المساعد لاوقات طويلة ومتكررة.

هناك القليل من الدراسات التي استخدمت فيها مواد طبيعية مثل: الفحم ، والرمل، والخشب او مواد اخرى في تقييد خلايا الاحياء المجهرية لغرض امتزاز ايونات العناصر الثقيلة من المحاليل المائية، تركز اغلب الدراسات على استخدام مثل هذه المواد في الترشيح معتمدة على قابلية المواد في امتزاز الايونات وكذلك على طول عمود التعبئة المستخدم.

لقد تمكن عدد من الباحثين من امتزاز عدد من العناصر مثل: (الكروم، والخارصين، والسيلينيوم) بأستخدام منظومة بايولوجية حاوية على خلايا البكتريا Shewanella putrefaciens المقيدة على الرمل ، وبلغت كمية الامتزاز 35.1 ملغم / لتر، اما فقد اثبت كفاءة الترشيح بالرمل للعديد من ايونات العناصر الثقيلة والامتزاز بوساطة البكتريا التي تنمو عليه، وبلغت نسبة الازالة 100 ٪ للكوبلت ، و80 – 90 ٪ للحديد، و60 – 80 ٪ للالمنيوم والكروم والفضة والخارصين،

وقد تم امتزاز الرصاص بأستخدام مواد طبيعية مثل اغلفة جوز الهند، بكمية بلغت 2.6 ملغم / لتر، كما استخدم الكاربون المنشط في تقييد خلايا البكتريا Enterobacteraerogenes واستخدامها في امتزاز ايونات بعض العناصر الثقيلة.



شكل (23) طرق تقييد الخلايا

2. المواد العضوية:

وهي مواد تكون ذات طبيعة بوليميرية وقد تستعمل هذه المواد بصورة مباشرة او يمكن استعمال مشتقاتها او المواد الناتجة منها بعد اجراء بعض التحويرات عليها كي تصبح ملائمة للتقييد ومنها :السليلوز ومشتقاته،الاكاروز،النشا، الكولاجين، ومتعدد الاكريلامايد، والالجينات، والبوليمرات الصناعية مثل:متعدد الستايرين الذي اثبت قدرة في ازالة الامونيا من مياه الفضلات، اما متعدد الاكريلامايد فقد سجل زيادة في قبط عناصر مثل:اليورانيوم و الكادميوم والرصاص و النحاس باستخدام الخلايا المقيدة مقارنة مع الخلايا الحرة.

مادة الالجينات:

هي عبارة عن بوليمرات مضاعفة متغايرة من الاحماض الكاربوكسيلية α-L- glucoronic وβ-D-mannuronic التي ترتبط بالاصرة الكلايكوسيدية (1 – 4)، وهي تستخلص من الادغال البحرية وتستعمل بوصفها مضافات للاغذية، ويمكن ان تهلم باستعمال ايونات الكالسيوم، تستعمل مادة الالجينات لتقييد الخلايا والانزيمات، وقد استعملت بنجاح في تقييد الخلايا النباتية، والخلايا المقيدة داخل هذه المواد تبقى محتفظة بحيويتها ونشاطها، ان طريقة تحضير هلام الالجينات تكون يسيرة وسهلة ولا تحتاج الى اجهزة أو معدات معقدة، اما مساوئ هذه المادة فهي تكون مادة لزجة عندما تحل في الماء وقبل ان تهلم تميل الى تكوين قطيرات صغيرة الحجم غير معتمدة على حجم الثقب الذي تحقن منه خلال عمليات التحضير؛ لذلك عند دخولها الى المحلول المهلم فان الحبيبات تكون مختلفة الحجوم.

استخدم هلام الالجينات في تقييد خلايا الخميرة Saccharomyces cervisiae لازالة النحاس من المياه، واثبت هلام الالجينات فعاليته في انجاز العملية، ويعد هلام الالجينات من المواد الجيدة في تقييد الخلايا، وغير سام وسهل التحضير الجدول (6) يوضح بعض المواد الصناعية المستخدمة في التقييد.

جدول(6) بعض المواد المستخدمة في التقييد لامتزاز العناصر

مواد التقييد	نوع الكتلة الحياتية	العناصر الممتزة
الجينات الكالسيوم	Chlorella vulgaris Spirulina platensis Chlorella salina Rhizopus arrhizus	Au,Cu,Fe,Zn
هلام متعددالاكريلامايد	Citrobacter sp. Rhizopus arrhizus	U,Cd,Pb,Cu,Co, Cd
السليكا	Algasorb sp	Cu,Ni,U,Pb,Hg, Cd,Zn,As, Ag
متعدد الارثان Polyurethane	Psudomonas aeruginosa	U
متعدد السلفون Polysulfone	Phormidium laminosum Citrobacter sp.	Pb,Cd,Zn

- **البكتريا كدليل حيوي على التلوث بمياه المجاري:**

يعيش الكثير من الانواع البكتيرية في امعاء الانسان و الحيوان طلبا للحصول الى المغذيات من الطعام المهضوم، و الملايين من هذه البكتريا تطرح مع الغائط فاذا تواجدت احياء مجهرية ممرضة في الامعاء فسوف تطرح ايضا مشكلة خطرة صحيا تهدد اولئك الذين سيتعرضون للاتصال المباشر مع هذه المياه، لذابات من الضروري اجراء فحوصات دورية على ماء الشرب لضمان عدم تلوثه بماء المجاري.

يتم البحث عن دلائل مايكروبية بدلا عن البحث عن الاحياء المجهرية الممرضة و ذلك لعدة اسباب منها: ان العملية صعبة و مكلفة و خطرة في الوقت نفسه. بكتريا القولون البرازية و افراد العائلة المعوية (Enterobacteriaceae) المتضمنة وEscherichia coli وCitrobacter وEnterobacter و Klebsieall غالبا ما تستغل كدلائل على التلوث بماء المجاري، ولانها تتواجد في الامعاء فان وجودها مرتبط مع الاحياء المجهرية المرضة المتواجدة في الامعاء ايضا، ان وجود هذه الانواع البكتيرية باعداد كبيرة في المياه يقود الى الاعتقاد ان هذه المياه قد تلوثت حديثا بالبراز الذي لا يكون بالضرورة بشريا، على الرغم من عدم وجود دليل قاطع على التلوث ببراز الانسان حصرا، لكن قد يرتبط تواجد البكتريا المعوية الاخرى مثل العقديات (Sterptococci) و المكورات المعوية (Enterococci) اكثر من العائلة المعوية.

اعتقد سابقا ان النسبة بين العقديات البرازية الى بكتريا القولون قد تحدد ما اذا كان التلوث البرازي من اصل بشري ام حيواني، ولكن لم يعد يعمل بها حاليا نظرا الى ان العقديات لا تتمكن من البقاء مدة طويلة في المياه المفتوحة مما يصعب عملية تحديد تراكيزها الحقيقية، فضلا عن ذلك لا يعد عدم تواجد هذه الانواع المايكروبية في المياه دليلا قاطعا على نظافتها، فهناك الكثير من الممرضات التي تتواجد في المياه دون الحاجة الى ان يكون الانسان هو المضيف الوسطي لها .ولكن ولى اية حال تبقى عملية استخدام الدلائل الحيوية المايكروبية مفيدة جدا في اعطاء تحذيرات مبكرة للتلوث المايكروبي.

الفصل السابع

المحافظة على البيئة المائية

- **تفاقم ازمة المياه:**

مما لا شك فيه ان المياه في غالبية بلدان العالم تعاني من تردي كبير، فقد أشارت الإحصاءات الأخيرة إلى انه لا يزال 1.2 بليون نسمة يفتقرون إلى سبل الحصول على المياه المأمونة، فيما يفتقر 2.5 بليون نسمة إلى مرافق صرف صحي مناسبة، ونتيجة لسوء مواصفات المياه يلقى مليونا نسمة حتفهم سنويا، ومعظمهم من الأطفال، وذلك من جراء الإصابة بالأمراض المتصلة بالمياه أو الصرف الصحي، ومن الجدير بالذكر أن ثلث سكان العالم يعيشون في بلدان تواجه ضغوطاً في مجال المياه، ويتوقع انه وبحلول عام 2025 قد يرتفع هذا العدد إلى الثلثين.

فضلا عن ما تقدم تورد الطبعة الثالثة من تقارير توقعات البيئة العالمية أن المياه تحظى بأولوية منخفضة من قبل اكثر الدول في العالم، ويتضح ذلك من خلال تقلص حجم المساعدة الإنمائية الرسمية المقدمة لهذا القطاع، وانخفاض الاستثمارات من جانب المؤسسات المالية الدولية، فضلا عن المرتبة المتدنية التي تحتلها في الميزانيات الوطنية، وغياب عنصر المياه كمعلم أساسي في البرامج الإقليمية الرئيسية؛ وتدور اغلب قضايا المياه والصرف الصحي حول ما يلي:

أ. عملية الحصول على المياه وتوافرها والقدرة على تحمل الكلفة.

ب. قضايا التخصيص.

ج. بناء القدرات والاحتياجات التكنولوجية.

إن المؤشر الدولي الحديث لندرة المياه كما عُرف من جانب مركز الإيكولوجيا والهيدرولوجية والمجلس العالمي للمياه يُظهِر أن بعضاً من أغنى دول العالم تحتل مرتبة متدنية في مجال استخدام المياه، فيما تحتل بعض البلدان النامية مكانة عليا وتعتبر من الدول العشر الأولى في هذا المجال.

لقد أعد جدول قحط المياه فريق مؤلف من 31 باحثاً بالتشاور مع أكثر من 100 من المتخصصين في مجال المياه من شتى أنحاء العالم. ويعمل هذا المؤشر على المستوى الدولي على ترتيب الـ 147 بلداً وفقاً لإجراءات مختلفة هي: الموارد، وسبل الحصول على المياه، والقدرات، والاستخدام والتأثير البيئي لإظهار الأماكن التي يسودها أفضل الأوضاع وأسوأ الأوضاع بالنسبة للمياه.

ان الدول العشر الأكثر تمتعاً بوفرة المياه حسب الترتيب التنازلي هي: فنلندا، كندا، آيسلندا، النرويج، غيانا، سورينام، النمسا، أيرلندا، السويد، سويسرا. أما البلدان العشرة ذات الرتبة الأدنى في قحط المياه فجميعها في العالم النامي وهي: هايتي، النيجر، أثيوبيا، إريتريا، ملاوي، جيبوتي، تشاد، بنين، رواندا وبوروندي.

وحسبما ورد في ندوة استكهولم للمياه، فإن الصلات القائمة بين الفقر والحرمان الاجتماعي، والسلامة البيئية، وتوافر المياه، والصحة تتضح بصورة أكبر لدى استخدام مؤشر قحط المياه، الأمر الذي يمكن واضعي السياسات وأصحاب المصالح من تحديد أماكن وجود المشاكل واتخاذ الإجراءات المناسبة لمعالجة أسبابها، اما الدول الجزرية الصغيرة النامية، فهناك 44 دولة من الدول الجزرية الصغيرة النامية تواجه قضايا خاصة تتصل بالبيئة والتنمية نظراً لصغرحجمها ومواردها المحدودة وانتشارها الجغرافي، وانعزالها عن الأسواق، ونتيجة لصغر حجمها والظروف الجيولوجية والطوبوغرافية والمناخية التي تنفرد بها، تواجه هذه الدول قيوداً حادة من حيث كل من كمية المياه العذبة وجودتها، وبوجه خاص هذا هو الوضع السائد بالنسبة للجزر المنخفضة المرجانية، حيث تكون إمدادات المياه الجوفية محدودة وغير محمية إلا بطبقة رقيقة من التربة ومنفذة للمياه، وحتى حين يكون هطول الأمطار وفيراً فإن الحصول على المياه النظيفة يكون ضئيلاً من جراء الافتقار إلى المرافق الكافية للتخزين ونظم التنفيذ الفعالة.

اما فيما يتعلق بالبيئة الساحلية فانه من الجدير بالذكر ان بعضاً من أهم النظم البيئية المائية في العالم مثل مصبات الأنهار والبحيرات والمنغروف والشعاب المرجانية توجد في المناطق الساحلية، بيد أن الخطوط الساحلية آخذة في الإنخساف والضعف من جراء تأثرها بالأنشطة البشرية؛ فحوالي 50 في المائة من السكان يعيشون ضمن مساحة تبلغ 200 كيلومتر من خطوط السواحل وتتزايد النسبة يومياً، وإضافة إلى ذلك، توجد غالبية المراكز الحضرية في المناطق الساحلية، ومن المعترف به على نطاق واسع أن ثمة روابط هامة بين قضايا المياه العذبة في أعالي أحواض الأنهار وقضايا المياه في المناطق الساحلية المجاورة، فالتغييرات في تدفقات القنوات الناجمة عن أعمال الري والطاقة المائية وإمدادات المياه أدت إلى تغيير مستويات الملوحة في مصبات الأنهار والبحيرات وتصريف نفايات المياه من المنازل والمواد الكيميائية الصناعية السامة وأسفرت عن تردي جودة المياه وألحقت الأضرار الملحوظة بالنظم البيئية الساحلية، وكذلك بالأوضاع المعيشية للملايين من الفقراء الذين يعتمدون على مصايد الأسماك الساحلية.

وفيما يتعلق بالحقائق والأرقام، فمن المهم ملاحظة أن المناطق الساحلية حاسمة بالنسبة لدعم الحياة على كوكبنا، فهي تستأثر بـ 20 في المائة من سطح الأرض، علماً بأنها تستضيف نسبة ملحوظة من السكان، والنظم البيئية الساحلية عالية الإنتاج ومتنوعة وتوفر 90 في المائة من مصايد الأسماك العالمية، وحوالي 25 في المائة من الإنتاجية البيولوجية العالمية، كما أن النظم البيئية الساحلية مسؤولة عن تنقية وإعادة معالجة الأسمدة الصناعية، والنواتج الجانبية الأخرى الناشئة عن الصناعات الحديثة التي تتدفق دون توقف.

وتوضح الإحصاءات التالية الضغوط المفروضة على البيئات الساحلية:

1. ما يقارب 50 في المائة من السكان يعيشون في مساحة تبلغ 200 كيلومتر من الساحل.

2. إن متوسط الكثافة السكانية في المناطق الساحلية يصل إلى حوالي 80 شخصاً للكيلومتر المربع الواحد وهو ضعف المتوسط العالمي.
3. إن أكثر من 70 في المائة من المدن المتضخمة في العالم (أكثر من 8 ملايين نسمة) توجد في مناطق ساحلية.
4. ما يقارب الـ 80 في المائة من التلوث البحري يتكون من جراء الأنشطة البرية.
5. أكثر من 90 في المائة من المياه المستعملة و70 بالمائة من النفايات الصناعية تصرف في المياه الساحلية دون أية معالجة.
6. تنشأ حوالي 250 مليون حالة من الإصابة بأمراض الالتهاب المعوي والأمراض التنفسية سنوياً بسبب الاستحمام بالمياه الملوثة.

ومن البيئات المائية الاخرى المرضة لضغوطات الانسان تبرز البحار والمحيطات، والتي تستأثر بـ 72 في المائة من سطح الأرض، وتؤدي وظيفة جوهرية لدعم الحياة فضلاً عن الطاقة والغذاء والنقل.

إن الإحصاءات التالية توضح ما يفرض على المحيطات من ضغوط:

أ. من أصل 126 نوعاً من أنواع الثدييات البحرية، يرد 88 نوعاً في القائمة الحمراء للأنواع المهددة التابعة للاتحاد العالمي لحفظ الطبيعة والموارد الطبيعية.

ب. يتعرض حوالي 58 في المائة من الشعاب المرجانية في العالم للخطر بسبب تنمية السواحل وتلوث البحار والاستغلال المفرط، فيما يتعرض حوالي 27 في المائة من الشعاب لأخطار شديدة جداً.

ج. إن مواطن أعشاب البحار الهامة التي تحتل مايزيد على 600000 كلم^2 يجري تدميرها بشكل سريع، ففي بلدان جنوب شرق آسيا تم ضياع 20 إلى 60 في المائة من أحواض أعشاب البحار.

وفي هذا الصدد اشار تقرير فريق الخبراء المشترك 2001 المعني بالجوانب العلمية لحماية البيئة البحرية بأن السلامة البيئية البحرية بما في ذلك مصبات الأنهار والمياه الساحلية القريبة من الشواطئ آخذة في التدهور باستمرار على نطاق عالمي، وفي أماكن أخرى يستفحل الوضع فيها بصورة أكبر .

- **جهود دولية:**

ازاء المخاطر العديدة التي تواجهها البيئة العالمية بشكل عام والبيئة المائية بشكل خاص ،وتحديدا خلال السنوات الثلاثين الماضية، عقدت مؤتمرات كبرى واتفاقات دولية عديدة تمخضت عنها معلومات أساسية واسعة تستخدم اليوم في السياسات وصنع القرارات المتعلقة بموارد المياه.

لقد جاء الإعلان العالمي للبيئة في مؤتمر استكهولم بالسويد عام 1972 م ، كبادرة حسنة لادراك المجتمع الدولي لحجم المخاطر التي تتعرض لها البيئة، حيث انبثق عن هذا المؤتمر تشكيل ما يسمى بمنظمة الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، بعد ان تبنت الجمعية العمومية للأمم المتحدة في ديسمبر 1972م القرار رقم 2997 القاضي بتأسيس هذه المنظمة، وبدأت أعمالها في يناير 1973م كهيئة حافزة لوكالات الأمم المتحدة تركز على القضايا البيئية، وترصد الظواهر والإتجاهات البيئية، وتنسق العمل الدولي المعني بحماية البيئة.

بعد ذلك انعقدت قمة الأرض الأولى عام 1992م في ريو دي جانيرو بالبرازيل، حيث أنها وضعت قضية التنمية المستدامة في صدر الأولويات هذا بالإضافة إلى كونه كان بمثابة أكبر تجمع دولي عقد على الإطلاق، كما نجحت نجاحاً باهراً في رفع الوعي العام حيث ووضع هذا المؤتمر إسلوب جديد يختلف عن ما طرحه مؤتمر استكهولم، فبينما ركز الأول على تلوث البيئة والموارد ركز مؤتمر ريو على إستراتيجية مشتركة لتنمية إنسانية سليمة من خلال تنمية إقتصادية إجتماعية مبنية على مفهوم التنمية المستدامة.

وتمثلت نتائج هذا المؤتمر النهائية في التالي:

- الاتفاق على ما يعرف بجدول أعمال القرن الحادي والعشرين :الذي يعتبر خطة عمل شاملة (40 فصلاً) لتوجيه العمل الوطني والدولي نحو التنمية المستدامة.
- إعلان ريو للبيئة والتنمية: الذي إشتمل على مباديء تحدد حقوق الدول وواجباتها فيما يتعلق بالبيئة والتنمية.
- تزامن مع فعاليات المؤتمر فتح باب التوقيع على إتفاقية الأمم المتحدة الإطارية للتغير المناخي وإتفاقية التنوع الأحيائي.

خلال العقد الماضي جرت عدة خطوات لتسريع تنفيذ جدول أعمال القرن 21(من مقررات مؤتمر ريو)، وحددت هذه الاجتماعات الدولية العديد من القضايا والتحديات الأساسية في مجال المياه مع زيادة التركيزعلى توفير إمدادات المياه والصرف الصحي، وكذلك الحاجة لتحسين أسلوب الإدارة والإدارة المتكاملة لموارد المياه، واقتُرحت إجراءات كثيرة لمواجهة التحديات مع التشديد على أهمية اتخاذ إجراءات متضافرة لاستخدام المياه بوصف ذلك نقطة انطلاق لتحديد غاية التنمية المستدامة، كما اكد المجتمع الدولي، في غايات الألفية ونتائج القمة العالمية المعنية بالتنمية المستدامة، على أن أزمة المياه العالمية تشكل تهديداً للتنمية الاقتصادية والتقليل من الفقر وللبيئة وبالتالي للسلم، كما اعترف بأن توفير المياه الصالحة للشرب والمرافق الصحية الكافية هي أمور ضرورية لحماية صحة البشر والبيئة، وفي هذا الصدد يجب أن تدرج في استراتيجيات إدارة الموارد المائية أهداف تحقيق تخفيض إلى النصف، بحلول عام 2015، في نسبة سكان العالم الذين لا يستطيعون الحصول على المياه الصالحة للشرب، أو دفع ثمنها أو الذين لا يمكنهم الحصول على مرافق صحية أساسية.

بعد ذلك إنعقدت قمة عالمية اخرى في جوهانسبرج بجنوب أفريقيا (من26أغسطس – 4 سبتمبر 2002م)، وأسفرت هذه القمة العالمية المعنية بالتنمية المستدامة، والتي حضرها أكثر من مائة من رؤساء الدول والحكومات، عن ثلاث نتائج هامة: هي إعلان جوهانسبرج بشأن التنمية المستدامة، وخطة التنفيذ (بما في ذلك تأييد الأهداف والغايات وتجديد الالتزام بالغايات الإنمائية للألفية)، وتَوَلد عن القمة ايضا تجديد الالتزام بإحداث تغيير جذري في حياة أولئك الذين يعانون من آثار عدم المساواة في العالم مع الحفاظ على سلامة البيئة الطبيعية من أجل الأجيال المقبلة، وقد حدد الأمين العام للأمم المتحدة المياه بوصفها إحدى الأولويات الخمس العليا للقمة، وسلطت القمة الضوء على مبادئ التنمية المستدامة، وبوجه خاص على الروابط بين" الافتقار إلى المياه" و"الافتقار إلى الدخل".

ووضعت هدفا هو على الاقل خفض نسبة السكان الذين يفتقرون إلى سبل الحصول بصورة مستدامة على مياه الشرب المأمونة وذلك في العام 2015 .

ان هذا الهدف هو اعتراف صريح بحقيقة أن أكثر من بليون من سكان العالم لا يزالون يفتقرون إلى مياه الشرب المأمونة، فيما يفتقر أكثر من ضعف هذا العدد إلى المرافق الصحية الكافية، وبنفس القدر من الأهمية، تشكل المياه بالفعل مكوناً أساسياً لجميع الغايات الإنمائية للألفية، والتي تتراوح بين القضاء على الفقر المدقع والجوع وضمان تحقيق الاستدامة البيئية،والإدارة السليمة للمياه، والتي تعتبر نقاطا جوهرية لتحقيق معظم الغايات الإنمائية للألفية الأخرى إن لم يكن جميعها.

إن مشروع الأمم المتحدة للألفية هو بمثابة مسعى مدته ثلاث سنوات قام بتدشينه في الآونة الأخيرة الأمين العام للأمم المتحدة وذلك لتحديد أفضل الاستراتيجيات لتلبية الغايات الإنمائية للألفية بما في ذلك تحديد الأولويات والاستراتيجيات والسبل التنظيمية والتمويل.

واعتمادا عى ما تقدم تظل إمدادات المياه العذبة وجودتها من بين أهم قضايا القرن الحادي والعشرين، وهذه الحقيقة حثت مجلس إدارة برنامج الأمم المتحدة للبيئة إدراج مسألة المياه العذبة بوصفها إحدى مجالات التركيز الخمسة الاساسية للتنمية المستدامة؛ وعلاوة على ذلك واعترافاً بالصلات القائمة بين أحواض المياه العذبة والبيئات الساحلية والبحرية، اعتمد مجلس الإدارة في دورته الحادية والعشرين سياسات واستراتيجيات للمياه لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة تركز على ثلاثة مجالات رئيسية هي التقييم والإدارة وتنسيق الإجراءات.

لقد تصدر برنامج الأمم المتحدة للبيئة عمليات معالجة الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية وأحواض الأنهار بوصف ذلك متابعة منطقية لعمله في مجال الإدارة المتكاملة لأحواض الأنهار وللمناطق الساحلية، وطور برنامج البيئة مبادئ توجيهية مفاهيمية لتمكين الحكومات في آن معاً من معالجة استدامة إدارة واستخدام المياه الساحلية وأحواض الأنهار التي تصب فيها، ويجري برنامج البيئة مشاريع بيان عملي ليظهر أن المبادئ التوجيهية والمبادئ المحددة يمكنها في الحقيقة توفير أداة فعالة لتطوير السياسات وتنفيذها للحكومات ولاسيما تلك التي تشكل برامج البحار الإقليمية .وتطبيق هذه المبادئ التوجيهية على الإدارة المتكاملة للموارد العذبة.

وبالنظر للحاجة إلى إدامة وإثراء الزخم المتولد عن القمة العالمية المعنية بالتنمية المستدامة، فلقد ركزت مؤتمرات برنامج الامم المتحدة للبيئة على اتخاذ مقررات محددة وإجراءات داعمة من أجل ما يلي:

أ. تعزيز تنفيذ سياسات واستراتيجيات المياه الخاصة ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة.

ب. تدعيم التقدم المحرز في مجال أنشطة تقييم المياه لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة بالاستناد إلى المنجزات التي تحققت.

ج. التأييد التام لتنفيذ إعلان مونتريال بشأن حماية البيئة البحرية، مع مراعاة نتائج القمة المتصلة بالمياه العذبة والبيئة الساحلية والبيئة البحرية.

د. تعزيز دور برنامج الأمم المتحدة للبيئة في مجال إدارة المياه العذبة.

فضلا عن ما تقدم واضافة الى الجهود السابقة عملت اجتماعات دولية عديدة لمناقشة ازمة المياه وخاصة مؤتمرات المياه العالمية في كل من شيكاجو بالولايات المتحدة في العام 1973،والتي عقدت تحت عنوان (المياه من أجل البيئة الإنسانية)، ومؤتمر ميلبورن في 2000 (تحت شعار مشاركة المياه والاعتناء بها)، ومؤتمر مدريد في 2003 والذي عقد تحت شعار إدارة الموارد المائية في القرن الحادي والعشرين،ومؤتمر نيو دلهي في 2005 تحت شعار المياه والتنمية المستدامة: نحو حلول مبتكرة.

كما تم اجراء فعاليات دولية اخرى تهتم بالمياه بصورة اساسية مثل المنتدى العالمي الثاني للمياه في لاهاي في عام 2000، والمؤتمر الدولي المعني بالمياه العذبة في بون في كانون الأول 2001، علما إن مؤتمر بون الدولي المعني بالمياه العذبة هو مؤتمر تحضيري معني بالمياه العذبة للقمة العالمية، وكان موضوعه "المياه، المفتاح لتحقيق التنمية المستدامة"، وتوفر مقررات المؤتمر توجيهات واضحة بشأن القضايا الأساسية والأولويات لخيارات السياسات، وقد حدد المؤتمر خمسة مفاتيح لإدارة المياه العذبة تحقيقاً للتنمية المستدامة هي:

أ. تلبية احتياجات الأمن المائي للفقراء.

ب. إزالة المركزية، فالمستوى المحلي هو المستوى الذي تلبي فيه السياسات الوطنية احتياجات المجتمع المحلي.

ج. إقامة شراكات جديدة من أجل توفير خدمات إرشادية أفضل بشأن المياه.

د. صياغة الترتيبات التعاونية على مستوى أحواض المياه بما في ذلك عبر المياه المحاذية للكثير من الشواطئ لضمان تحقيق الانسجام طويل الأجل مع الطبيعة والجهات المجاورة.

٥. ضمان وجود ترتيبات أقوى وأفضل لأداء النشاط الإداري بوصفه أحد المفاتيح الرئيسية في هذا الخصوص.

لقد حددت هذه الاجتماعات الدولية العديد من القضايا والتحديات الأساسية المتعلقة بالمياه مع تزايد التركيز على توفير إمدادات المياه والصرف الصحي، وكذلك الحاجة إلى تحسين الإدارة والإدارة المتكاملة للموارد المائية، واقترحت لمواجهة التحديات الكثير من الإجراءات التي تشدد على أهمية اتخاذ الإجراءات المتضافرة لاستخدام المياه كنقطة انطلاق لتحقيق هدف التنمية المستدامة، وكما وردت الإشارة من قبل، فالمياه هي عامل حاسم يؤثر في استجابات المجتمع الدولي وما يتخذه من إجراءات من أجل تحقيق الأهداف التنموية للألفية بما في ذلك تلك الرامية إلى التقليل من الفقر ودمج مبادئ التنمية المستدامة في السياسات والبرامج الوطنية وتحسين سبل الحصول على المياه والارتقاء بمستوى معيشة الفقراء من السكان والحد من الوفيات بين الأطفال بحلول عام 2015.

وفي هذا الصدد ندرج بعض من فعاليات برنامج الامم المتحدة للبيئة في حماية الموارد المائية العالمية وإدارتها، ففي مجال ادارة وحماية البيئة البحرية تتمثل الآلية الرئيسية في برنامج العمل العالمي لحماية البيئة البحرية من الأنشطة البرية الرامي إلى تعزيز الجهود المبذولة على المستويات الوطنية والإقليمية والعالمية لمعالجة ما قد يعتبر أهم خطر يهدد البيئة البحرية أي تدفق المواد الكيميائية ومياه المجاري والأنواع الأخرى من النفايات والملوثات إلى البحار عن طريق الهواء والأنشطة التي تجري في الأنهار والسواحل، والبرنامج الاخر في مجال البيئة البحرية هو برنامج البحار الإقليمية والذي يوفر إطاراً فعالاً لأدوات السياسات والأدوات القانونية وغيرها لإدارة السواحل والمحيطات في 15 منطقة من مناطق العالم.

اما في مجال حماية المياه العذبة والبيئة الساحلية والبحرية للدول الجزرية الصغيرة النامية، فان مهمة برنامج الامم المتحدة للبيئة هو تيسير تنفيذ برنامج عمل بربادوس للدول الجزرية الصغيرة النامية ودعمه، كما يقوم البرنامج بدعم مشروع شبكة العمل الدولية للشعاب المرجانية، فضلا عن ربط الإدارة المتكاملة لموارد المياه بالإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية، وتطوير مبادئ توجيهية للإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية وأدوات أخرى ذات صلة.

اما فيما يتعلق بالمياه الداخلية فقد قام برنامج الامم المتحدة باعداد برامج ومشاريع للإدارة السليمة بيئياً للمياه الداخلية مثل خطة عمل تنمية نهر زامبيزي؛ ودراسة تشخيصية لحوض بحيرة تشاد وخطة عمل لها، وتعزيز الحوار الحكومي الدولي بشأن تحسين عملية صنع القرار بشأن السدود وبدائلها وإدارتها.

كما قام البرنامج ايضا بالتشجيع على استخدام تكنولوجيات دولية سليمة بيئياً للتصدي لقضايا الإدارة الحضرية وإدارة المياه العذبة؛ اضافة الى تاسيس المركز التعاوني المعني بالمياه والبيئة، وهو مركز للخبرات يقدم الدعم لتنفيذ سياسات واستراتيجيات المياه الخاصة ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة، ويركزعلى الجوانب البيئية لموارد المياه العذبة والبيئة البحرية، كما يجري المركز دراسات هامة ويعد المبادئ التوجيهية والمساعدة التقنية في مجال إدارة المياه، اضافة الى التنفيذ الإقليمي لسياسات واستراتيجيات المياه بما في ذلك مساندة الحوار الحكومي الدولي بشأن المياه (مثلاً مساندة برنامج الأمم المتحدة للبيئة لقيام المؤتمر الوزاري الأفريقي المعني بالمياه)، ويساعد برنامج الأمم المتحدة الحكومات، بناءً على الطلب، في تطوير خطط لإدارة المياه العذبة تطبق على مستوى أحواض الأنهار/البحيرات/الطبقات الصخرية المحتوية على مياه بما في ذلك أحواض الأنهار العابرة للحدود. ويشجع برنامج البيئة الإدارة الشاملة لأحواض الأنهار/البحيرات/الطبقات الصخرية المحتوية على مياه لدى التصدي لمسألة موارد المياه العذبة المستدامة.

- **التعاون والاتفاقيات على المستويين الدولي والإقليمي في مجال المياه**

تشترك بلدان كثيرة في نظام أو أكثر من نظم المياه العذبة كالبحيرات أو الأنهار، وفي الواقع يقدر أن هناك أكثر من 300 حوض من أحواض الأنهار العابرة للحدود، وكذلك العديد من الطبقات الصخرية المحتوية على مياه جوفية التي يشترك بها إثنان أو أكثر من البلدان.

واعتمادا على ما تقدم سوف يواصل برنامج الأمم المتحدة تشجيع التعاون الدولي داخل إطار أنشطة الإدارة المتكاملة للأحواض النهرية، بما في ذلك تيسير تنفيذ الاتفاقات متعددة الأطراف العالمية والإقليمية للمياه العذبة المشتركة على المستوى الدولي، وقد بدأ برنامج البيئة تقييماً لمدى فعالية الأدوات أو الاتفاقات الدولية القائمة حالياً المعدة لتيسير التعاون بين البلدان فيما يتعلق بموارد المياه الدولية المشتركة.

كما تقدم تقارير توقعات البيئة العالمية معلومات متوقعة عن البيئة الإقليمية؛ فالتقييم العالمي للمياه الدولية يغطي 66 منطقة من المناطق التي يتم فيها التصدي لقضايا ترتبط بمسطحات المياه المحددة والملوثات والأراضي والإدارة المتكاملة للأراضي والمياه؛ ويمنح أطلس اتفاقات المياه العذبة الدولية الذي أصدره برنامج الأمم المتحدة للبيئة وشركاؤه في الآونة الأخيرة، اهتماماً خاصا لاتفاقات المياه الإقليمية.

ان البرنامج الجديد لتقييم جودة المياه العذبة يعمل على تعزيز التعاون مع المؤسسات الوطنية؛ ويجري تنفيذ برنامج العمل العالمي في مناطق عديدة، مع وضع التشديد بوجه خاص على تطوير برامج عمل وطنية، وعلى التنفيذ والعمليات على المستوى الإقليمي بما في ذلك البروتوكولات الإقليمية؛ ويغطي برنامج البحار الإقليمية حالياً 15 منطقة؛ وتعمل المكاتب الإقليمية لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة

على دعم الإجراءات والعمليات المذكورة أعلاه والأهم من ذلك تعمل على تيسير الحوار الحكومي الدولي على المستوى الإقليمي.

ومن الاتفاقيات المهمة التي وقعت عليها بلدان عديدة من اجل حماية البيئات المائية ما يلي:

- الإتفاقية الدولية لمنع تلوث البحر بالنفط (عام 1954م).
- تعديلات الاتفاقية الدولية لمنع تلوث البحر بالنفط (عام 1954م)، المعنية بإجراءات ناقلات النفط وتحديد حجمها (1971).
- التعديلات المتعلقة بحماية حاجز الشعاب العظيم (1971)، والتي أضيفت للاتفاقية الدولية لمنع التلوث البحري بالنفط (عام1954 م).
- المعاهدة الدولية الخاصة بالمسئولية المدنية للأضرار الناتجة عن التلوث بالزيت (1969م).
- اتفاقية حظر تخزين ووضع الأسلحة النووية ذات التدمير الشامل في قاع البحر أو المحيط وفي التربة التحتية لهما (عام 1971م).
- إتفاقية حظر تطوير وإنتاج وتخزين الأسلحة البكتيرية (البيولوجية) والسامة (عام 1972م).
- إتفاقية منع التلوث البحري بإلقاء المخلفات والمواد الأخرى (1972م).
- المعاهدة الدولية لمنع التلوث الناتج عن السفن (1973م) والمعدل ببرتوكول عام 1978م (ماربول MARPOL73/78).
- معاهدة الأمم المتحدة لقانون البحار (عام 1982م).
- معاهدة الأمم المتحدة الإطارية للتغير المناخي(عام 1992م).
- البروتوكول الخاص بإمتيازات السلطة الدوليه لقاع البحار وحصاناتها (1998م)، و يتبع معاهدة الأمم المتحدة لقانون البحار (عام 1982م).
- برتوكول كيوتو (1997م) التابع لمعاهدة الأمم المتحدة الإطارية للتغير المناخي(عام 1992م).

- كما ان هناك عدد من الاتفاقيات والمعاهدات والبروتوكولات الإقليمية منها:
- إتفاقية الكويت الإقليمية للتعاون في حماية البيئة البحرية من التلوث (1978م).
- البروتوكول الخاص بالتعاون الإقليمي لمكافحة التلوث بالنفط والمواد الضارة الأخرى في الحالات الطارئة – يتبع إتفاقية الكويت الأقليمية للتعاون في حماية البيئة البحرية من التلوث (1978م).
- الإتفاقية الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن (عام 1982م).
- البروتوكول الخاص بالتعاون الإقليمي لمكافحة التلوث بالنفط والمواد الضارة الأخرى في الحالات الطارئة – ويتبع الإتفاقية الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن (عام 1982م).
- البروتوكول الخاص بالتلوث البحريالناجم عن نشاطات إستكشاف وإستغلال الجرف القاري (عام 1989م) – ويتبع إتفاقية الكويت الأقليمية للتعاون في حماية البيئة البحرية من التلوث (1978م) .
- البروتوكول الخاص بحماية البيئة البحرية من التلوث من مصادر في البر (عام 1990م) – بروتوكول حماية البيئة البحرية من التلوث من مصادر في البر – في منطقة المنظمة الإقليمية لحماية البيئة البحرية (عام 1978م).
- البروتوكول الخاص بالتحكم في نقل النفايات الخطرة عبر الحدود البحرية والتخلص من النفايات الخطرة وغيرها من النفايات (عام 1998م) – ويتبع إتفاقية الكويت الأقليمية للتعاون في حماية البيئة البحرية من التلوث(1978م).

- **جهود اخرى:**

ان اهمية البيئة لكل إنسان تتطلب أن تتضافر كافة الجهود من اجل مكافحة التلوث بشتى أشكاله، وخاصة التلوث المائي ابتداءاً بالحكومات المختلفة والمؤسسات المختصة وانتهاءاً بالأفراد، لذلك فان المجهودات التي يمكن إن تبذل لاستدامة وتواصل النظم البيئية المائية وتواصل الجنس البشري تتطلب فهما أفضل لطبيعتها المتحركة، وتحولاً من أسلوب التقطيع والتدرج والإدارة قصيرة النظر للموارد الطبيعية، إلى تنظيمها وإدارتها بطريقة تضمن نموها واستمرارها على المدى الطويل.

وعليه فمن الثابت أن مصير الإنسان، مرتبط بالتوازنات البيولوجية وبالسلاسل الغذائية التي تحتويها النظم البيئية، وأن أي إخلال بهذه التوازنات والسلاسل ينعكس مباشرة على حياة الإنسان، ولهذا فإن نفع الإنسان يكمن في المحافظة على سلامة النظم البيئية التي تؤمن له حياة أفضل.

ان عملية المحافظة على البيئات المختلفة وخاصة البيئات المائية تحتاج الى بذل جهود كبيرة وعلى مختلف المستويات،ولايقتصر بالضرورة على الجهود الدولية التي تبنتها الامم المتحدة ،ولكن ايضا ممكن ان يتم بعدد من الاجراءات منها:

1. **نشر التوعية البيئية:**

يجب ان تبذل جهود كبيرة من اجل خلق وعي بيئي وتربية بيئية لدى كافة سكان لعالم، وتضمين الماء في برامج التربية البيئية في كافة المراحل الدراسية، لخلق جيل قادر على اكتساب المهارات العلمية والأكاديمية للتعامل مع الموارد المائية في بيئته والمحافظة عليها وصيانتها من التلوث، والتعرف على السلوك الصحيح والضار تجاه الموارد المائية، فضلا عن التعرف على النواحي الجمالية في الماء واستخداماته الرشيدة.

بالعمل على منع التلوث أو الحد منه، وتقوم المنظمات البيئية أيضاً بنشر المجلات والمواد الأخرى لإقناع الناس بضرورة منع التلوث.

3. تشريعات حكومية صارمة:

يجب إن تعمل الحكومات القومية والمحلية في مختلف أرجاء العالم على التخلص من التلوث الذي يسبب التلف للنظم البيئية المائية،وذلك من خلال سن القوانين والتشريعات التي تساهم في المحافظة على البيئة المائية، وتتمثل التشريعات الحكومية في المحافظة على البيئة وحمايتها في الإجراءات القانونية التالية:

1. تشريعات قانونية دولية قادرة على تنظيم مسؤولية الدول لمنع إحداث الضرر للنظم البيئية المائية المختلفة، وتشريعات عالمية وإقليمية لحل المشكلات البيئية التي قد تنشأ بين الدول المتجاورة.
2. سن القوانين والتشريعات الخاصة بنوعية الماء ومراقبة التلوث الناتج عن الأنشطة البشرية.
3. تشريعات تنظيمية تتعلق بالمشكلة السكانية، وتنظيم النسل، وتخطيط العائلة،مع ما يرافق ذلك من تشريعات تتعلق بالمسألة الغذائية، والأمن الغذائي والوطني والعالمي.
4. سن تشريعات قانونية وطنية وإقليمية وعالمية تلزم أصحاب المصانع والشركات الصناعية بإتباع أساليب وتقنيات حديثة للحد من خطر التلوث البيئي واضطراب النظم البيئية.

4. الدفع باتجاه استخدام تقنيات جديدة:

لقد اكتشفت العديد من الشركات أن الحد من التلوث أمر مطلوب من المنظور التجاري، فقد وجد بعضها أن الحد من التلوث يحسن صورتها لدى الجماهير، كما أنه يوفر المال، وطور آخرون منتجات أو وسائل لا تشكل خطورة على البيئة، وذلك سعياً لكسب رضى المستهلكين، كما طور البعض الآخر أنظمة

لمكافحة التلوث لاعتقاده بأن القوانين سترغمهم على فعل ذلك، آجلاً أو عاجلاً . وتحد بعض الشركات من التلوث لأن القائمين على هذه الشركات آثروا أن يفعلوا ذلك من منطلق إحساس حقيقي بالمشاكل البيئية.

5. حماية اكبر للمصادر المائية غير الملوثة:

ويتم ذلك من خلال تحديد مناطق حماية المصادر المائية الجوفية والسطحية، وحمايتها من التلوث الناتج عن الأنشطة البشرية، لذلك يجب دراسة مناطق التغذية المائية ومجرى المياه الجوفية، والسطحية واتجاه الجريان ونوعية الملوثات ونوعية التربة والصخور المحيطة بالمصدرالمائي ومصدر التلوث.

6. تكثيف الدراسات والبحوث في مجال تلوث المياه:

لما كانت أهداف العلم تتمثل في التفسير والتنبؤ والضبط، لذا فإنه يتوقع من العلم أن يقوم بدور أساسي في مكافحة التلوث البيئي المائي، والمحافظة على البيئة المائية بالذات من خلال الإجراءات العلمية والتكنولوجية، ومن ذلك استقصاء المواد الملوثة للماء وإعداد قوائم قياسية لها ودراسة طبيعة الماء من حيث حجم وتركيب وشحنة الجسيمات الملوثة فيه وكذلك خواصه، وتحديد التأثيرات المزمنة للمواد الملوثة عند تعرض الإنسان والكائنات الأخرى لتركيزات منخفضة منها وتحديد الأمراض المنقولة عن طريق المياه الملوثة وسن التشريعات الفردية للإبقاء على الماء في حالة كيميائية وطبيعيه وبيولوجية لا تسبب أضرارا للإنسان والحيوان والنبات ،والحرص على التحليل الدوري للمياه كيميائيا وبيولوجيا للتأكد من سلامتها باستمرار.

وفي هذا الصدد ينبغي التذكير أن دور العلم يمتزج امتزاجا كاملا بدور المجتمع، فالعلم يؤثر في المجتمع، والمجتمع يؤثر في العلم. وعليه، فإن المسؤولية الاجتماعية ينبغي أن تسير جنبا إلى جنب مع الإبداع العلمي والتقنية الصناعية حتى يمكن إنتاج صناعات تفيد الإنسان وتسير سبل عيشه دون أن تدمر بيئته، وفي

هذا الصدد يجب العمل على دفع الاهتمام الواسع بالبيئة من قبل العلماء والمهندسين، وإلى البحث عن الحلول التقنية لهذه المسألة، فبعض الأبحاث تحاول إيجاد طرق للتخلص من التلوث أو تدبيره، وبعضها الآخر يهدف إلى منعه، وبحوث أخرى تحاول إيجاد استعمال مفيد وبديل للملوثات، ولحماية المصدر المائي من التلوث غالباً ما يتم تحديد ثلاث مناطق كالتالي:

أ. المنطقة الداخلية: وهي المنطقة المحيطة بالمصدر المائي الجوفي أو السطحي، ويتم تشجير حزام من الغطاء النباتي لمسافة 100 متر غالباً يحيط بالمصدر المائي، ويمنع ضمن هذا الحزام مزاولة أي نشاط بشري يسبب التلوث للمصدر المائي.

ب. المنطقة الوسطى: وتحيط بالمنطقة الداخلية على شكل حزام بحدود 500م، أو تحدد هذه المنطقة بخط الخمسين يوماً، وهي الفترة الزمنية التي تحتاجها المياه لكي تصل منها إلى المصدر المائي، وقد حددت منظمة الصحة العالمية مدة الخمسين يوماً هذه لأن البكتيريا والفيروسات خلال هذه الفترة الزمنية تترشح في التربة وتتلاشى، كما تحلل المواد العضوية القابلة للتحلل خلال هذه الفترة، ولا يسمح في هذه المنطقة بإقامة المنشآت وأعمال التعدين والمحاجر.

ج. المنطقة الخارجية: وتحيط بالمنطقة الوسطى بمسافة نحو 200 متر ويسمح بإقامة المنشآت العمرانية والصناعية بشرط وجود شبكة تصريف صحي تعمل بشكل جيد، ولا يسمح بتخزين النفايات ولا إنشاء محطات المحروقات. ويتم تحديد هذه المناطق ومساحتها بعد إجراء دراسات كافية من الناحية الجيولوجية والطبوغرافية وحركة المياه السطحية والجوفية وطبيعة الاستعمال وكل حالة على انفراد.

المصادر:

أولاً: المصادر العربية:

- ادم، كوركيس عبد الله (ترجمة 1988)، التلوث البيئي، جامعة البصرة، البصرة.
- التميمي، كامل مهدي (ترجمة 1994)، بايولوجيا التلوث، دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد.
- تقرير القمة العالمية المعنية بالتنمية المستدامة، جوهانسبرج، جنوب أفريقيا، 26 آب/أغسطس – أيلول/سبتمبر 2002 (منشورات الأمم المتحدة) الفصل الأول، القرار 1، المرفق.
- تقرير الاجتماع الحكومي الدولي الأول لاستعراض تنفيذ برنامج العمل العالمي لحماية البيئة البحرية من الأنشطة البرية، مونتريال، كندا، تشرين الثاني/نوفمبر 2001 (برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج العمل العالمي 9/IGR.1 والتصويب1).
- تقرير المؤتمر الدولي المعني بالتمويل من أجل التنمية، مونتيري، المكسيك، 18 – 22 آذار/مارس 2002 (منشورات الأمم المتحدة) الفصل الأول، القرار 1، المرفق.
- الراوي، محمد عمار وعبد الرحيم محمد عشير (ترجمة 1989)، التلوث البيئي، جامعة بغداد، بغداد.
- ربيع، عادل مشعان وربيع، هادي مشعان وربيع،احمد محمد(2006)، التربية البيئية، دار عالم الثقافة، عمان.
- زكي، شويكار (ترجمة 1996)، المياه في مواجهة الخطر ومستقبل يسوده الفقر: تدهور النظم البيئية للمياه العذبة، الدار الدولية للنشر والتوزيع، القاهرة.
- السعدي، حسين علي (2002) علم البيئة والتلوث، جامعة بغداد، بغداد.

- السعدي، حسين علي (1998)، تلوث البيئة المائية في العراق، مجلة أبحاث البيئة والتنمية المستدامة.
- الصالح، فؤاد (1997)، التلوث البيئي(أسبابه،أخطاره،مكافحته)، سورية.
- صالح، قيصر نجيب وسهيلة عباس الدباغ (ترجمة 1984)، علم البيئة ونوعية بيئتنا، جامعة الموصل، الموصل.
- عبد الجواد، احمد عبد الوهاب (2001)، تلوث المياه العذبة، دائرة المعارف البيئية، الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة.
- علي، لطيف حميد (1987) التلوث الصناعي: المصادر، كيمياء التلوث، طرق السيطرة، جامعة الموصل، الموصل.
- العمر، مثنى عبد الرزاق، (2000)، التلوث البيئي، دار وائل للنشر، عمان.
- محمود، طارق احمد(1974)، التلوث (مختارات من البحوث التي القيت في ندوة التلوث،أثاره وأخطاره وطرق الوقاية منه في العالم العربي)، القاهرة.
- مولود، بهرام خضر وحسين، علي السعدي وحسين احمد شريف الاعظمي (1991) علم البيئة والتلوث، جامعة بغداد، بغداد.
- يونس، شفيق محمد (1999)، تلوث البيئة، دار الفرقان للنشر والتوزيع، عمان،الأردن.

ثانياً: المصادر الأجنبية:

- Algarni ,S.M. (2005). Biosorption of lead by gram-ve capsulated and non -capsulated bacteria. Water Sa. 31(3).
- Amir, S. and J. Hyman, (1993). Measures of ecosystem health and integrity. Water Sci. and Techno.27:481 – 488.
- Anderson.J.M.(1981).Ecology for Environmental sciences. Edward Arnolds . London
- Arica, M.Y. ,Bayramoglu,G.,Yilmaz, M.,Bektas,S. and Genc, O. (2004) .Biosorption of Hg +2 ,Cd+2 and Zn+2 by Ca-alginate and immobilized wood-rotting fungus Funalia trogii . J. Hazardous materials . 109:191-199.
- Brooks, G., Butel, J., and Morse, S. (2007). Jawetz, Melnick, & Adelberg's Medical microbiology , 24th ed. McGraw-Hill companies, Inc. USA.
- Gerardi, M. (2006). Waste water bacteria. John Wiley & sons, Inc. New Jersey.
- Gerardi, M. and Zimmerman, M. (2005). Waste water pathogens. John Wiley & sons, Inc. New Jersey.
- Guangyu ,Y . and Thiruvenkatacheri ,V . (2003) .Heavy metals removal from aqueous solution by fungus Mucor rouxii . Water Res : 37(18) :4486-4496 .
- Harrison,R.M.(1982).Pollution:Causes ,Effects and Control .Royal Society of Chemistry. Special Publ.(44).Whitstable Litho Ltd.UK.
- Hogg, S. (2005). Essential microbiology . John Wiley & sons, Inc.Chichester, England
- Hussein, H., Ibrahim, S. F., Kandeel, K. and Moawad, (2004). Biosorption of heavy metals from waste water using Pseudomonas sp. Electron . J . Biotechnol . 7(1).
- Jurkevitch, E. (2007). Predatory prokarytes biology, ecology and evolution. Spriger-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kang , S . Y . , Lee , J . U . and Kim , K . W . (2005). Metal removal from wastewater by bacterial sorption

:kinetics and competition studies . Enviov . J . Technol . 26 (6):615- 624 .

- Kolwzan, B. , Adamiak, W., Grabas, K., and Pawelczyk, A. (2006). Introduction to environmental microbiology. Oficyna wydawnicza politechniki wroclawskiej Wroclaw.
- Nester , E . , Anderson , O . Robert , J . Pearsall , N . and Nester , M . (2001) . Microbiology ahuman perspective 3rd ed . . Mc Graw –Hill Education . NewYork
- Percival , S. , Chlamers, R., Embrey, M., Hunter, P., Sellwood, J., and Wyn-jones, P. (2004). Microbiology of waterborne diseases. Elsevier academic press, New York.
- Pommerville, C. (2006). Alcamo's fundamentals of microbiology 8th ed. Jones & Bartlett.
- Sigee, D. (2005). Freshwater microbiology biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment . John Wiley & sons, Inc. New Jersey.
- Volesky, B. (2003). Sorption and biosorption Br-sorbex, Inc., St. Lambert, Montreal, Canada.

التلوث المائي